Rückschlüsse auf die Dauerzugfestigkeit von Drähten, Litzen und Seilen auf Grund von Dauerversuchen

Von der Technischen Hochschule zu Breslau zur Erlangung der Würde eines Doktor-Ingenieurs genehmigte

Dissertation

Vorgelegt von

Dipl.-Ing. Friedrich Beck

aus Stuttgart.

Referent:
Prof. Dr.-Ing. C. Heinel.

Korreferent:
Prof. R. Krauss.

Tag der mündlichen Prüfung: 15. Juli 1930.

Spezialdruckerei für Dissertationen Dr. Hermann Eschenhagen KG., Ohlau i. Schl.

*2564

R. UNIV.
BIBLIOTHEEK
LEIDEN

In Dankbarkeit
meinen lieben Eltern gewidmet.

Meinen hochverehrten Lehrern,

Herrn Professor Dr.-Ing. Heinel

und

Herrn Professor Krauss,

Technische Hochschule Breslau, erlaube ich mir auch an dieser Stelle für ihre wohlwollende Unterstützung bei der vorliegenden Arbeit meinen besten Dank auszusprechen.

Der Verfasser.

Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41548004_0122

Inhaltsangabe.

Seite

Ueberblick über den bisherigen Stand der Drahtseilfrage
Qualitative Prüfung der Drähte; Zugfestigkeit, Biegefähigkeit, Verdrehungsprobe 1
Gesichtspunkte für Berechnung und Konstruktion der Seile, Seilbelastung, Sicherheitsfaktor, Drahtstärke, mechan. Zerstörung, Flechtart, spez. Bruchfestigkeit 2
Mängel der bisherigen Seilberechnung hinsichtlich: dynamischen u Biegungs-Beanspruchungen, Schwingungen, wiederholten Beanspruchungen, Spannungszustände 5
Zweck der Versuche; Dauerzugfestigkeit
Versuchseinrichtung 8
Durchführung und Auswertung der Versuche . . 9
an Originaldrähten 21
an Litzen 28
Folgerung für Seile 31
Ableitung neuer Rechnungsgrundlagen 31
Anwendung auf die Praxis, Seilstatistik 32
Vergleich mit anderen Dauerversuchen 35
Quellennachweis 37

Die zur Herstellung von Drahtseilen verwendeten Drähte werden vor der Verarbeitung, um Anhaltspunkte für die Qualität der Drähte zu erhalten, mechanischen Prüfungsmethoden unterworfen. Diese erstrecken sich auf die Feststellung 1. der Festigkeit, 2. der Biege- und 3. der Torsionsfähigkeit. Die Prüfung der Zugfestigkeit erfolgt auf Drahtzerreißmaschinen, d. h. durch einen Zugversuch, der bis zum Bruch durchgeführt wird. Die Biegefähigkeit wird im allgemeinen festgestellt mit Hilfe eines Biegeapparates, einer Einrichtung, die im wesentlichen gleicht einem Schraubstock mit abgerundeten Preßbacken. Der zwischen beide Backen gepreßte Draht wird durch einen Hebel hin und her bewegt. Als eine Biegung gilt die Bewegung aus der Vertikale in die Horizontale und wieder in die Vertikale. Als Krümmungsradien für die Abrundung der Backen kommen meist 5 mm für Drähte bis 2,4 mm Durchmesser und 7,5 mm für stärkere Drähte in Frage. Die Biegezahlen, d. h. die Anzahl der Biegungen, die ein Draht aushalten muß, liegen z. B. für Drähte mit Durchmessern wachsend von 1,5 bis 2,4 mm Stärke zwischen 13 und 4 Biegungen abnehmend, wobei Drähte größerer Festigkeit (über 160 kg/mm²) geringere Biegezahlen aufweisen gegenüber Drähten niederer Festigkeit (13 bis 6).

Die beste Probe für Drähte bezüglich sachgemäßer Fabrikation ist die Torsions- oder Verdrehungsprobe. Zu diesem Zweck wird der Draht bei einer Ursprunglänge von 150 bis 200 mm in 2 einander gegenüberliegende Backenpaare eingespannt, von denen sich das eine in einem Schlitten in der Längsrichtung des eingespannten Drahtes bewegen kann, während das andere einer drehenden Bewegung unterworfen werden kann. Die Längsverschiebbarkeit ist hierbei notwendig, um Zusatzspannungen infolge Kürzens der Originallänge des Drahtes durch das Verwinden, zu vermeiden. Die Anzahl der von einem Draht ausgehaltenen Verwindungen gilt als Maßstab für seine Güte. Bestimmte Verwindezahlen sind als Norm bisher noch nicht aufgestellt. Die Verwindeprobe ist ein Mittel, etwa im Material vorhan-

dene Mängel, die geeignet sein können, bei der späteren Benutzung des Seiles vorzeitig Drahtbrüche herbeizuführen, in Erscheinung treten zu lassen. Normale Erscheinungen bei der Verwindeprobe sind: gleichmäßiger Verlauf der Windungen, glatter ebener Bruch. Anormale Erscheinungen sind: verbiegen der Drahtachse, ungleichmäßige Verteilung der Verwindungen auf die ganze Länge des Drahtes und unregelmäßige Brucherscheinungen, besonders das Aufspalten in der Längsachse des Drahtes.

Die nach obigen Gesichtspunkten qualitativ geprüften Drähte werden alsdann zu Litzen gewickelt und diese wiederum zu Seilen verseilt, „geschlagen".

Hierbei sind 3 weitere Gesichtspunkte maßgebend für die Auswahl der Drahtsorten: 1. Die Erzielung der benötigten Zugfestigkeit, bedingt durch die verlangte Tragfähigkeit, unter gleichzeitiger Berücksichtigung evtl. Zusatzspannungen. 2. Die Wahl der geeignetsten Drahtstärke und Schlagart zur Erzielung einer bestimmten Biegsamkeit bei der Umlenkung der Seile um Rollen. 3. Das Seilgewicht, welches weniger bei Aufzugsseilen, vielmehr jedoch bei Förderseilen von Bedeutung ist. Diese 3 Faktoren bestimmen die Drahtfestigkeit pro mm^2 und die Anzahl der im Seil enthaltenen Drähte.

Die Feststellung der tatsächlichen Seilbelastung ist der wesentlichste Faktor bei der Wahl der Seilkonstruktion. Außer der durch das Eigengewicht (die direkte Seilbelastung) bewirkten Spannung und der durch Führung über Rollen usw. bewirkten Biegungsanstrengung können durch Lagerreibung der Seilscheiben, Massenbeschleunigungen und andere Gründe, Zusatzspannungen in das Seil kommen, deren Vernachlässigung die schwersten Folgen haben können.

Hat man, obigen Gesichtspunkten Rechnung tragend, den Höchstwert der Seilbelastung errechnet, so wird zu diesem Wert in den meisten Fällen ein Zuschlag gemacht, der gewöhnlich ein Vielfaches desselben darstellt. Die bergpolizeilichen Vorschriften schreiben z. B. bei Förderseilen für diesen Sicherheitsfaktor das 6fache der Belastung bei Produktenförderung (einschl. Korb- und Seilgewicht) vor, bei Seilfahrt das 9fache, ein Wert, der meist noch überschritten wird, um eine möglichst hohe Sicherheit zu gewährleisten.

Bei Kran- und Aufzugsseilen geht man mit der Sicherheit auf das 4 bis 5 fache der direkten Seilbelastung.

Der nächste Schritt bei der Festlegung der Konstruktion des Seiles ist die Wahl der geeignetsten Drahtstärke. Die einzelnen Drähte haben ja in erster Linie den Seilzug und die Biegungsanstrengung auszuhalten und nebenher auch den Flächendruck an den Seilscheiben und Beeinflußungen durch atmosphärische und chemische Einwirkung. Es ist allgemein üblich, mit dem Verhältnis von Drahtstärke δ zum Durchmesser D (der kleinsten vom Seil zu passierenden Rolle) nicht unter einen Wert kleiner als 1/1600 bei Förderseilen und 1 500 bei Kran- und Aufzugseilen herabzugehen, es würde dann betragen im ersten Fall für δ = 1,6 mm D = 2,5 m und im zweiten Fall für δ = 0,8 mm D = 40 cm. Bei Förderseilen an Schachtförderanlagen mit großen Seilscheiben kann obiger Wert unterschritten werden, weil für diese Seile vielmehr die Zugbeanspruchung der Drähte in Rechnung fällt als die Biegungsbeanspruchung, welche bei den verhältnismäßig großen Seilscheiben weniger bedeutsam ist. Kritischer jedoch wird letztere bei Aufzugseilen, die, wie es häufig der Fall ist, über Rollen laufen, deren Durchmesser so klein ist, daß das Verhältnis von δ : D bis auf 1 200 herabsinkt. Es ist ohne weiteres einleuchtend, daß sehr kleine Rollendurchmesser recht erhebliche Werte für die Biegungsbeanspruchung der Drähte hervorrufen können. Um hier noch auf einigermaßen günstige, d. h. geringere Werte der Biegungsbeanspruchung zu kommen, ist eine Verringerung der Drahtstärke anzustreben.

Doch auch hier ist bald eine untere Grenze erreicht. Hat man, wie es beispielsweise bei Förder-, Abteuf-, Bremsberg-, Zug- und Rangierseilen der Fall ist, mit der Möglichkeit zu rechnen, daß die Seildrähte durch Reiben einzelner Seillagen aufeinander oder durch Schleifen am Boden, oder durch Uebergang über viele Ablenkrollen, mechanischen Zerstörungen ausgesetzt sind, so darf die Drahtstärke auch nicht zu gering bemessen werden, es muß hingegen der einzelne Draht genügend großen Querschnitt haben, um auch bei teilweiser, oberflächlicher Abschürfung noch genügenden tragenden Querschnitt aufzuweisen. Auch darf nicht außer Acht gelassen werden, daß ein Seil aus vielen dünnen Drähten eine größere Drahtoberfläche darbietet den Zerstörungen

durch atmosphärische und chemische Einflüsse, mehr als ein Seil gleicher Tragfähigkeit aus weniger, aber dickeren Drähten. Auch hierfür gibt es wohl Schutzmaßnahmen durch besondere Behandlung der Drähte, durch Verzinken und Verkupfern, oder durch reichliches Fetten und Schmieren.

An dieser Stelle muß beiläufig erwähnt werden, daß auch Besonderheiten in der Flechtart der Litzen (Rund-, Flach- oder Dreikantlitzen) und die Schlagart des Seiles (Albert- oder Längsschlag) Einfluß haben können auf die Gestalt der den Zerstörungen ausgesetzten Seiloberfläche.

Der gewöhnliche Rundschlag gibt den Litzen des Seiles einen gleichförmigen Querschnitt, wodurch einerseits bei einem fertigen Seil ein Zwischenraum zwischen den einzelnen Litzen erzeugt wird, andererseits aber relativ nur ganz wenig Drähte für die Aufnahme des Flächendruckes an den Seilscheiben usw. in Frage kommen; das bedeutet aber nichts anderes als eine außerordentliche Ueberanstrengung dieser Drähte. Um diesem Uebelstand abzuhelfen und mehr Drähte für die Aufnahme des Flächendruckes heranzuziehen, sind verschiedene Konstruktionen durchgebildet worden, bei denen die Litzen in ihrem den Seilumfang bildenden Teil eine mehr abgeflachte Form erhalten, sogenannte flachlitzige oder dreikantlitzige Seile. Bei diesen Seilen kommen in den einzelnen Litzen immer 4 — 5 Drähte nach außen zu liegen, die dem Verschleiß unterliegen, während dies beim gewöhnlichen Rundlitzseil theoretisch nur bei einem Draht der Fall ist. Man erzielt also bei dieser besonderen Gruppierung der Drähte an den Litzen eine größere Auflagemöglichkeit in den Laufbahnen, wodurch der Auflagedruck und damit der Verschleiß herabgemindert wird. Ein weiterer beachtenswerter Vorzug dieser beiden Seilkonstruktionen ist auch die bessere räumliche Ausnutzung des tragenden Seilquerschnittes; ein Seil dreikantlitziger Konstruktion ist im Durchmesser um ca. 10 bis 12% geringer als ein rundlitziges Seil gleichen Drahtmaterials.

Nach Festlegung der Gesamtbruchfestigkeit des Seiles und Wahl der geeignetsten Drahtstärke ergibt sich die Anzahl der im Seil zu verspinnenden Drähte, unter gleichzeitiger Annahme der spezifischen Bruchfestigkeit des Drahtmaterials. Bei der Bruchfestigkeit pflegt man heute allgemein nicht unter 120 kg/mm² zu gehen; bei

Schachtförderseilen beträgt sie 150 bis 180, bei Kran- und Aufzugsseilen bis zu 240 kg mm². Die Wahl der Drahtfestigkeit ist bestimmend sowohl für die Drahtzahl als auch für den Seildurchmesser und für das Seilgewicht. Die Seilfabriken geben Tabellen heraus, nach denen auf Grund der Gesamtbruchfestigkeit, der spezifischen Bruchfestigkeit des Drahtmaterials und der Drahtstärke, die geeignetste Seilkonstruktion, der Durchmesser des Seiles, sowie das Seilgewicht pro m ermittelbar sind. Die gebräuchlichsten Sorten sind auch bereits in den D.I.Normen 655 festgelegt. Geringere spezifische Bruchfestigkeit bewirkt größere Drahtzahl, größeren Seil- und Spulendurchmesser und höheres Gewicht, während eine Erhöhung der spezifischen Festigkeit ein Fallen dieser Größen bedingt. Die Praxis hat bisher die oben erwähnten Festigkeiten als am geeignetsten erwiesen und hat besonders auch die Brauchbarkeit der Seildrähte höchster Festigkeit dargetan, ein Umstand, der für Ingebrauchnahme solcher leichter Seile bei großen Fördertiefen bestimmend war. Mit größerer Fördertiefe wächst das Verhältnis zwischen Förderkorb plus Belastung zum Seilgewicht sehr zu Gunsten des letzteren. Seile mit hoher Bruchfestigkeit des Drahtmaterials sind daher durch geringes Gewicht vorteilhafter.

Bei vorstehender Besprechung der Grundlage für die Konstruktion eines Drahtseiles wurde ausgegangen von der althergebrachten, in der Praxis allgemein üblichen Berechnungsweise, die Festigkeit, unter Zugrundelegung des Seilzuges, bestehend aus Seilgewicht (bei größter Teufe) und Seilbelasung (Nutzlast) für Seilbeanspruchung aus der Summe der Festigkeiten der einzelnen Drähte zu errechnen, unter Einfügung eines Sicherheitsfaktors. Dieser Berechnungsweise haftet insofern ein großer M a n g e l an, als 1. auf die meist nicht unbedeutenden, oft sogar gefährlichen Biegungsspannungen im Seil beim Arbeiten desselben gar keine Rücksicht genommen, oder wenigstens nicht zum Ausdruck gebracht wird; 2. die im Drahtmaterial durch die Verseilung erzeugten Spannungen und Materialveränderungen vernachlässigt werden, 3. die Schlagarten nicht berücksichtigt werden.

Wenn auch bei den Schachtförderseilen durch Wahl großer Seil- und Förderscheiben die Verhältnisse nicht so ge-

fährlich liegen als bei Aufzugsseilen, die gewöhnlich über viele kleine Rollen arbeiten müssen, so tritt bei ersteren durch die Stöße und Schwingungen infolge der viel größeren Fördergeschwindigkeiten, durch größere Lasten, größere Seillängen und dadurch bedingtes höheres Seilgewicht und andere wenig kontrollierbare Ursachen, zur direkten Zugspannung der Seile eine zusätzliche Anstrengung hinzu, die die Sicherheit von 6 bzw. 9 um ein ganz bedeutendes Maß herabdrükken. Es sind demnach bei der Ermittlung der Seilkonstruktion aus der geforderten Tragfähigkeit, unter Zugrundelegung eines bestimmten Sicherheitsfaktors, nicht nur die statischen Belastungen in Rechnung zu setzen, sondern auch die dynamischen. Man denkt bei den dynamischen Beanspruchungen der Förderseile meistens nur an diejenigen durch starke Beschleunigung der Fördermaschine oder Verzögerung durch Gegendampf, durch Festklemmen von Körben in den Schachtführungen, durch Fallen der Körbe in Hänge-(Schlaff-)Seil bei Aufsatzvorrichtungen u. a. Alle diese Umstände sind mehr oder weniger Ursache für Längsschwingungen des Seiles, welches ja an sich kein starres, sondern elastisches Gebilde darstellt. Diese Schwingungen sind um so stärker, je größer die Fördergeschwindigkeit ist. Während des Förderzuges verstärken sich, je nach den örtlichen Verhältnissen der Anlage, die Schwingungen, wenn die Eigenschwingungsdauer des Seiles beispielsweise mit der Zeitfolge der Maschinenkraftimpulse (bei Dampfförderungen), oder mit dem Rhythmus der, durch unrunde Scheiben bedingten, ungleichmäßigen Ablaufgeschwindigkeit des Seiles von den Seilscheiben oder Trommeln übereinstimmt. Aehnliche Resonnanzerscheinungen können auch herbeigeführt werden durch die Schlingerbewegungen der Körbe zwischen den Spurlatten, wodurch dauernd wechselnde Reibungswiderstände verursacht werden.

Während die Beschleunigung und Verzögerung der Fördermaschinen selten 2 m/sec² übersteigen — meistens liegen sie zwischen 1 und 1,5 m/sec² — können durch Seilschwingungen Beschleunigungen und Verzögerungen an Körben herbeigeführt werden, die die ersteren um ein Mehrfaches übertreffen. Aus Bild 1 z. B. ist ersichtlich, daß die Beschleunigung, die beim Anfahren fast 2 m/sec² betrug, während des Förderzuges bis auf den Wert 4 stieg und beim Stoppen sogar

über 7 m sec² betrug. Die Nachrechnung eines ähnlichen Falles* ergab, daß durch die hierbei auftretenden Beschleunigungskräfte, die ursprüngliche statische Sicherheit von 8,3 herabsank auf 3,8 bei Förderfahrt, also mehr als die Hälfte. Dabei muß man stets berücksichtigen, daß sich die Verhältnisse bei gebrauchten Seilen noch mehr zu Ungunsten der Seilsicherheit ändern, da durch den Gebrauch die Festigkeit des Drahtmaterials unter Umständen zunimmt, die Zähigkeit und speziell die Biegbarkeit aber abnimmt. Schon der Verseilungsprozeß zeitigt diese Ungleichmäßigkeit infolge der Kaltverformung beim Wickeln der Drähte; Beanspruchungen während des Betriebes erhöhen sie noch im Laufe der Zeit.

Man hat bis in die 80er Jahre des vergangenen Jahrhunderts die im gebogenen Seil auftretenden zusätzlichen Biegungsbeanspruchungen nach Reuleaux mit $\sigma = E \cdot \frac{\delta}{D}$ angenommen, nach späteren Angaben Bachs und Hrabaks aber diesen Wert als zu hoch und deshalb irreführend bezeichnet und nur $\frac{1}{3}$ davon als wirkliche Größe der Biegungsspannung als richtig erachtet. Neuere Untersuchungen von Isaachsen, Bock, Woernle und Benoit** nehmen Anstoß an dieser Berechnungsweise und wollten den Beweis durch Rechnung und Dauerbiegeversuche erbringen, daß die Bach'sche Berechnungsweise auf einem Trugschluß beruht und daß auf jeden Fall mit dem vollen Wert der Reuleaux'schen Formel für die Biegungsspannung, wenn nicht sogar noch mit einem größeren, zu rechnen ist. Bei Aufzugsseilen und vielen Zug- und Streckenförderseilen, bei denen Rollendurchmesser vom 200-fachen der Drahtstärke nichts seltenes sind, wird diese Frage akut. Die neuere Drahtseilforschung ist darum auch schon von dem Begriff des Bach'schen Seilelastizitätsmoduls, weil irreführend, abgekommen; in der neuesten Ausgabe der amtlichen Bestimmung über Einrichtung und Betrieb von Aufzügen ist dieser Fehler ausgemerzt und durch eine vorläufige Berechnungsweise „auf Grund der derzeitigen Erkenntnis der Wissenschaft und Bedürfnisse der Praxis" ersetzt; man rechnet mehr mit dem Elastizitätsmodul des Drahtes, der unter normalen Verhältnissen etwa zu 22000 kg/mm² angenommen werden kann.

*) Fördertechnik und Frachtverkehr 1926, S. 367, Ziebolz, Beanspruchung von Seilen im Förderbetrieb.

**) Benoit, Die Drahtseilfrage, Karlsruhe 1915.

Doch auch damit ist keine befriedigende Lösung der Drahtseilfrage erreicht. Zu bedenken ist immer die Tatsache, daß das Material eines verseilten Drahtes gegenüber dem Urzustand gewisse Veränderungen erfahren hat und durch den Verseilungsprozeß bleibend verformt worden ist, wovon man sich an jedem aus einem Seil herausgelösten Draht durch die Beibehaltung der Schraubenlinienform überzeugen kann. Dieses und der Hinweis auf die beim Draht durch die Verseilung erzeugten Beanspruchungen, die Eigenreibungen der Drähte aneinander und auch die oft bedeutenden Biegungsspannungen im Betrieb stellen die Frage der Bruchgefahr und Sicherheit der Drahtseile in ein wesentlich anderes Licht als dies früher der Fall war. Ein Moment darf man bei der Beurteilung der Sache ebenfalls nicht außer Acht lassen, das bisher in der Literatur nicht genügend gewürdigt worden ist. Unser Drahtmaterial stellt bekanntlich kein spannungsloses Erzeugnis dar, sondern es ist vielmehr durch die vorhergehende Warmbehandlung und den Ziehprozeß in weitgehendem Maße verändert. Die Drähte befinden sich in einem Spannungszustand, der durch die Verseilung und die beim Betrieb einsetzenden ermüdenden Beanspruchungen dauernd verändert wird.

Es ergibt sich hieraus als Folgerung, daß der Seilsicherheitsfaktor nicht mehr so viel Bedeutung hat, wenn man ihn definiert als die Größe, die angibt, um wieviel das Seil durch direkte Zugbeanspruchung über seine berechnete Anstrengung beansprucht werden kann, ehe es zu Bruch geht. Viel wertvoller ist die Kenntnis der zulässigen Beanspruchung des Drahtmaterials bei wiederholten Beanspruchungen, ohne daß gefahrbringende Materialveränderungen auftreten, die zum Bruch führen könnten. Die Rechnungsgrundlagen müssen also gewonnen werden nicht aus dem statischen Prüfverfahren, sondern aus einem dynamischen.

Einen Beitrag hierzu sollen Versuche liefern, über die im Nachfolgenden berichtet wird.

Der leitende Grundgedanke für die angestellten Versuche war der, experimentell zu erforschen 1. wie verhalten sich Drähte gegenüber wiederholten Belastungen und Entlastungen und 2. wie groß ist die größte zulässige Belastung, oder kurz Dauerzugfestigkeit, welche einem Draht zugemutet werden kann bei unzähligen Bela-

stungswechseln, d. h. Be- und Entlastungen zwischen einer unteren und oberen Belastungsgrenze, ohne daß hierdurch eine schädigende Wirkung für den Draht auftritt. Eine solche liegt vor, wenn der Draht überansprucht wird und äußert sich analog dem statischen Zugversuch in einer Zunahme der bleibenden Dehnung, nur daß diese, entgegen dem einfachen statischen Zugversuch, bei wiederholten Belastungswechseln, das ist beim Dauerzugversuch, schon bei niedrigeren Belastungen in Erscheinung tritt.

Die zur Durchführung der Versuche bestimmte Apparatur hätte also folgende Aufgaben zu erfüllen: 1. Einen Draht, wie beim Zugversuch regelbar in bestimmter Zeit und bis zu einem meßbaren Grad der Belastung auf Zug zu beanspruchen; 2. hiernach den Draht wieder von dieser oberen Belastungsgrenze zu entlasten bis auf eine untere Belastungsgrenze oder Restspannung, beides in continuierlicher Folge; 3. zu messen und zu registrieren nach einer beliebig einstellbaren Anzahl von Belastungswechseln, einmal die elastische Dehnung, oder ihre Zunahme bei Belastung und dann die bleibende Dehnung, oder die Zunahme der restlichen Dehnung bei Entlastung (Restspannung).

Die Versuchsapparatur.

Zur Durchführung der Versuche wurde eine Apparatur zusammengestellt, deren Form und Zweck im wesentlichen einer Zerreißmaschine liegender Bauart gleicht. Die Krafterzeugung (Belastungsänderung) erfolgt durch Verschieben eines Laufgewichtes auf einem Winkelhebel. Zum Einspielen (Einrichten) des Laufgewichthebels ist das Gegenspannlager regulierbar. Die Kraftmessung erfolgt durch Skala und Eichkurven. Die effektive Zugkraft beträgt je nach dem Zusatzgewicht, welches dem Laufgewicht zugesetzt wurde, zwischen 6 und 300 kg.

Soviel zunächst allgemein über den grundsätzlichen Aufbau. Die weiteren zur Apparatur gehörenden Einrichtungen werden im folgenden erläutert an Hand des Schemas Bild 2, welches mit der räumlichen Anordnung des in Bild 3 gegebenen Gesamtbildes übereinstimmt. Die apparative Durchbildung der Einzelteile ist aus den Teilbildern 4 — 7 ersichtlich.

Meßvorrichtung a) Bild 4. Zu messen waren die Dehnungen, elastische und bleibende von Drähten und Litzen in Abhängigkeit von der Belastung. Die Meßvorrichtung, sche-

matisch dargestellt in Bild 8, ist ein Zeigerwerk, beruhend auf einer Hebelübersetzung ausgeführt nach dem Prinzip eines Ellipsengradlenkers. Die Wirkungsweise ist die: Der zweiarmige, ungleichschenklige Hebel 1 von 300 mm Gesamtlänge ist in seinem Drehpunkt 2 angelenkt an die wagerechte Schwinge 3, die ihrerseits wieder gelenkig in 4 mit dem Traggestell 5 verbunden ist. Am freien Ende 6 des kürzeren Hebelarmes greift eine Zugstange 7 an, die mit der „linken, beweglichen Meßklemme" 8 verbunden ist. Auf dem vom Rahmen 5 ausgehenden Ausleger 9 ist verschieb- und regelbar angebracht die „feste, rechte Meßklemme" 10. Die Meßlänge zwischen diesen beiden Klemmvorrichtungen (Meßpunkten) ist variabel zwischen 650 und 1200 mm, benutzt wurde fast immer 1000 mm Einstellung. Um einen sicheren Halt des Drahtes in den Klemmbacken zu erhalten wurde feine Schmirgelleinewand als Zwischenlage in den Kupferbacken verwendet. Das freie Ende 11 des längeren Hebelarmes ist identisch mit der Zeigerspitze, die durch eine vertikale Schwinge 12 geradlinig geführt wird. Die Längenverhältnisse des doppelarmigen Hebels 1 sind so gewählt, daß eine Längenänderung von 1 mm zwischen den Meßpunkten 8 und 10, an der Spitze des Zeigers 11 sich in einem Ausschlag von ca. 30 mm bzw. 18 mm (bei Benutzung der Drehachse 2') äußert. Infolge der endlichen Länge der horizontalen Schwinge 3 und der Zugstange 7 ergeben sich ungleiche Skalenteile, besonders in der äußersten Stellung des Zeigers. Die Auswertung der aufgenommenen Diagramme erfolgte daher mit Hilfe besonderer Skalenmaßstäbe, die in der Meßvorrichtung selbst geeicht wurden. Hierzu wurde die rechte Meßklemme 10 ersetzt durch eine Mikrometerschraube, durch welche ein in gleicher Lage wie der Versuchsdraht gespannter, linksseitig durch Gewicht belasteter Draht verschoben wurde, sodaß mit Hilfe der Meßklemme 8 diese Längenänderung auf das Zeigerwerk übertragen werden konnte. Die Schwingen 3 und 12 und die anteiligen Gewichte des Hebels 1 sind durch Gegengewichte 13 und 14 so gut wie möglich ausbalanciert; der Zeiger 11 erhält durch ein kleines Gewicht 15 an einem rechtwinklig zum Hebel 1 angeordneten Hebel 16 ein linksdrehendes Moment — die Dehnungen werden durch Zeigerausschlag nach rechts gemessen —, um jeden toten Gang auszuschalten. Alle Gelenke sind in Bohrungen und Zapfen ausgeführt, nicht

in Spitzen, mit Rücksicht auf Festigkeit der Lagerungen bei einem evtl. zwischen den Meßstellen erfolgenden Drahtbruch. Die Messungen werden aufgezeichnet mittels Funkenregistrierung (siehe weiter unten) auf dem Registrierstreifen 17. Die Streifen bestanden aus Oelpauspapier, in welchem sich die Durchschlagspunkte des Funkens an ihren deutlich sichtbaren Brandrändern bei rückwärtiger Beleuchtung schnell und übersichtlich erkennen ließen. Die Gesamtbreite der Streifen betrug 20 cm bei einer Nutzbreite von 16 cm für die Diagrammschrift. Die Weiterschaltung des Streifens erfolgt durch den

Papiervorschub b) Bild 4.

Als Antrieb dient der Motor 18 (Bild 2), welcher über verschiedene Vorgelege die Papierwalze 19 dreht, an die der Registrierstreifen durch Andruckrollen zwecks Mitnahme angepreßt wird. Auf den Achsen der Vorgelege sind verschiedene Kontaktscheiben 20, 22 und 23 angebracht mit Aussparungen, durch welche das Stromloswerden der zugehörigen Kontaktfedern bewirkt wird. Durch die Kontaktscheibe 20, über welche der Motor 18 Strom erhält, wird dieser nach einem vollen Umlauf der Kontaktscheibe stromlos gemacht, also stillgesetzt. Zum Ingangsetzen des Motors wird diesem ein Stromimpuls gegeben von einer anderen, mit der obengenannten Kontaktscheibe 20 in Wechselschaltung liegenden Kontaktscheibe 21, die auf der Hauptschaltwalze (siehe weiter unten Absatz s) sitzt. Der Stromverlauf ist so folgender: Von Anschluß + IV der Sammelschiene, über Vorschaltlampe 24, Kontaktscheibe 21, welche nur kurzzeitig Kontakt gibt, zum Motor 18 und von da zurück auf einer (mit weiter unten beschriebener Markiereinrichtung gemeinsamer) Rückleitung nach — IV. Nachdem Motor 18 in Gang gekommen ist wird damit auch Kontakt 20 geschlossen, während 21 sich öffnet (Absatz s) sodaß nunmehr die Stromzufuhr nur noch über Kontakt 20 erfolgt. Nach einem Umlauf öffnet sich auch dieser Kontakt und Motor 18 wird stromlos. Der Papiervorschub für ein Bewegungsspiel beträgt 1,8 mm. Die oben schon erwähnte

Funkenregistrierung c) besteht in folgender Einrichtung:

2 parallelliegende Stahlschienen 25 und 26 (Bild 8) in Holzleisten als Isolation gefaßt und einen Spalt von 15 mm Breite bildend, dienen als Zu- und Ableitung der Hochspan-

nung. Durch den Spalt und über die Kante der hinteren Schiene 25 gleitet der Registrierstreifen. Zwischen den beiden Schienen bewegt sich das Zeigerende 11 geradlinig. Das Zeigerende, welches gegenüber dem Hebel 1 isoliert ist, trägt einen in der Spaltebene liegenden, beiderseits zugespitzten Querstift 27, der beim Durchschwingen des Zeigers sowohl von der papierbedeckten Schiene 25 als auch von der freien Schiene 26 jeweils 2 mm entfernt bleibt. Die Hochspannung, welche an beide Schienen angelegt wird, geht in Funkenform an den beiden Spitzen unter Durchschlagen des Registrierstreifens über, sodaß sich die momentane Zeigerstellung in Gestalt eines Durchschlagpunktes auf dem Registrierstreifen markiert. Der Zeitpunkt des Ueberschlages wird auch hier durch eine Kontaktscheibe 28 (Bild 2) auf der Schaltwalze (s) bestimmt. Diese schließt den Stromkreis: Akkumulatorenbatterie 29, Primärspule des Funkeninduktors 30 und Unterbrecher 31. Im Hochspannungskreis ist noch eine Vorfunkenstrecke 32 eingebaut, zum Regulieren der Intensität und Streuung des Funkendurchschlages. Die in Richtung der Abszisse aufgezeichneten Diagrammpunkte geben ein Maß für die Dehnung des Versuchsdrahtes. In Richtung der Ordinahte, also in Richtung der Papierbewegung, werden aufgezeichnet die Anzahl der erfolgten Registrierungen durch die

Markierung d) derart, daß eine Tintenschreibfeder 33 (Bild 2) am linken Rand des Registrierstreifens, außerhalb des Funkenbereiches einen Strich aufzeichnet, der nach jedem fünften Spiel des Papiervorschubes b) durch Seitwärtsbewegung der Feder unterbrochen wird. Diese Ablenkung der Schreibfeder bewirkt der Magnet 34, welcher über die Kontaktscheibe 22 (gleichlaufend mit Scheibe 20 des Papiervorschubes) und 23, welche nur den fünften Teil der ersteren umläuft, und über die Vorschaltlampe 35 an die Verteilerleiste in + VI und — VI (gemeinsame Rückleitung des Papiervorschubes b), daher mit — IV verbunden) angeschlossen ist. Eine weitere Schreibfeder, welche auf die Isolierleisten der Stahlschiene 26 (Bild 8) aufgeklemmt werden kann, erzeugt an beliebig einstellbarer Stelle des Registrierstreifens einen Kennstrich, um Abweichungen der fortlaufend aufgenommenen Registrierpunkte, d. h. also zusätzliche Dehnungen, leichter sichtbar zu machen. Bild 9 gibt einen Ausschnitt aus einem aufgenommenen Diagramm wieder.

Diese bisher genannten Einrichtungen: Meßvorrichtung, Papiervorschub, Funkenregistrierung und Markierung, sind an bzw. auf dem oben bereits erwähnten Rahmen 5 (Bild 8) montiert und in ihrer Gesamtheit als Schreibzeug (Bild 4) zu bezeichnen. Da nun bei der Belastung des Probedrahtes eine Dehnung erfolgt und damit eine Wanderung der „festen Meßklemme" 10 nach rechts (gemäß der rechtsseitigen Anordnung des Gewichtshebels), beim Nachregulieren des Einspielens des Gewichtshebels eine rückwärtige Bewegung nach links, so ist das Schreibzeug frei schwebend über dem Probedraht aufgehängt vermittels der Ketten 36 und 37 (Bild 8), die — an einem die ganze Apparatur überragenden Gerüst (Bild 3) befestigt — so lang sind, daß bei Verschiebung des Drahtes in seiner Längsrichtung, das Schreibzeug praktisch parallel dazu und widerstandslos mitwandern kann. Am linken Rand des Schreibzeuges, angelenkt am Rahmen 5 (Bild 8) befindet sich noch eine Führungsrolle 38, die den Draht nur leicht berührt, um die Höhen- und Seitenlage des Schreibzeuges relativ zum Probedraht sicher zu stellen und ein Querpendeln zu verhindern.

Die Belastung des Probedrahtes erfolgt, wie schon eingangs erwähnt, durch den

Gewichtshebel e), einem Winkelhebel mit wagerechtem Arm 39 (Bild 10) für das Laufgewicht und kürzerem senkrechten Arm 40, der den rechten Drahtspannkopf aufnimmt. Dieser wird vermittels dreikantiger Stahlprismen eingespannt (Bild 10 b), um durch diese Lagerung auf Schneiden Biegungsbeanspruchungen von den Proben fernzuhalten. Die Lagerung des Winkelhebels, welcher gleichfalls auf Schneiden 41 aufruht, ist in dieser Drehachse recht breitspurig ausgeführt, einmal um eine stabile Lage gegen das seitliche Umkanten zu erlangen, und dann um zwischen den Schneidenlagern Raum zu gewinnen für die Durchführung der das Laufgewicht bewegenden Zugorgane (Fuchskette). Diese werden durch Umlenkrollen so geführt, daß sie beim Uebergang von dem Lagerungsstück zum Gewichtshebel genau durch die Drehachse hindurchgehen. (Siehe Bild 10 c.) Durch diese Anordnung wird jedes zusätzliche den Gewichtshebel beeinflußende Moment ausgeschlossen. Der Laufgewichtshebel ist rückwärtig gabelförmig verlängert; der eine Verlängerungsarm trägt ein Gegengewicht zur Ver-

ringerung des Lastmomentes des Laufgewichtshebels, also zur Geringhaltung der Anfangslast; der andere Arm trägt einen Dämpfungskolben, der in einem Oelgefüllten Zylinder spielt (auf Bild 3 unterhalb des Schreibzeuges am U-Träger sichtbar). Diese Einrichtung läßt sich in ihrer Wirkung regulieren dadurch, daß die im scheibenförmigen Kolben befindlichen Oeldurchtrittslöcher durch Verdrehen einer Abschlußscheibe mehr oder weniger verschlossen werden können. Die Dämpfung ist erforderlich, weil der Gewichtshebel als Ganzes bei Bewegungen, d. h. bei Auf- und Abwärtsschwingungen (bei Ent- und Belastungen) eine ziemlich große Masse darstellt, die bei ihrer Schwingbewegung besonders in der Belastungsstellung die eingestellte statische Last um einen dynamischen Anteil vermehrt; dieser fällt natürlich um so größer ins Gewicht, je schneller sich die Be- und Entlastungshübe folgen, je größer also die Belastungsgeschwindigkeit ist. Erkennbar wurde jeweils diese Erscheinung am Ausschlag der Zeigerspitze des Schreibgerätes, die ohne Benutzung der Dämpfungseinrichtung mit Beendigung des Belastungshubes einen größeren Ausschlag anzeigte, als bei ruhender Belastungsstellung. Durch Beobachtung der Zeigerstellung und Vergleich der Endausschläge bei laufender und ruhender Apparatur konnte der richtige Grad der Dämpfung eingestellt werden. Am Kopfende des Laufgewichthebels 39 ist eine Nase angebracht, die den Hauptschalter 42 (Bild 2) betätigt bei Drahtbruch. Die Lage des Hebels 39 wird reguliert durch Anziehen oder Nachlassen des Probedrahtes vermittels zweier Schraubenspindeln 43 und 44, die an einem Querstück 45 angreifen, in dessen Mitte die linke Spannklemme des Probedrahtes eingehängt ist. Die eine Spindel 44 dient zur Handregulierung, die andere 43 wird vom Regulierwerk f) (Bild 3 links) aus betätigt. Dieses besteht aus Elektromotor 46 und Getrieben 47 und 48, mit einer Gesamtübersetzung von 1 : 3000. Die Regulierspindel 43 ist mit Gelenkwelle 49 angeschlossen. Die Betätigung des Regulierwerkes erfolgt durch den

Regulierschalter g) (Bild 5), der seinerseits wieder mechanisch betätigt wird durch die am Belastungshebel 40 angebrachte Zeigerstange 50, sobald ein gewisses Maß der Abwärtsbewegung des Gewichtshebels 39 im Verlauf der Versuche eintritt. Diese Vor-

richtung wurde nur dann in Benutzung genommen, sobald bei höheren Belastungen ein Versagen der Einspannung (Rutschen) des Probedrahtes in einem der beiden Spannköpfe zu befürchten war. Die Proben wurden, wie aus Bild 10 b ersichtlich, in Schlingen gebogen, mit durchgesteckten Haltestift in dem Spannkopf mit Blei, bei Litzen mit Zink vergossen. Der Stromkreis zu dem Regulierwerk und dem Schalter führt von den Anschlußleisten in IX über die Vorschaltlampen 51 und 52. Die Verschiebung des Laufgewichtes erfolgt durch den

Be- und Entlastungstrieb h) (Bild 6, linke Hälfte), bestehend aus umsteuerbaren Motor 53, Vorgelege 54 (in Oel laufend), Kettenrad 55 und endloser Bandkette 56. An diese sind die oben erwähnten Zugorgane angekoppelt (Bild 5 rechts), die die Verschiebung des Laufgewichts bewirken.

Die Umsteuerung des Motors 53 erfolgt durch den

Umkehrschalter i) (Bild 7 links), der elektromagnetisch betätigt wird durch die Magnete 57 und 58. Der Lauf des Stromkreises ist folgender: Von Klemme + II der Verteilerleiste über Vorschaltlampe 59, Regulierwiderstand 60, Feld des Motors 53 (die äußeren Klemmen sind die Feldklemmen, die inneren die des Ankers), Kontakt 61 des Umschalters, Anker des Motors 53, Kontakt 62 des Umschalters, Kontaktscheibe 63 der Schaltwalze, — II der Anschlußleiste; bei der anderen Stellung des Wendeschalters ist die Stromrichtung: vom Feld des Motors 53 erst an Kontakt 62', zum Anker, zu Kontakt 61' und dann über Kontaktscheibe 64 an — II der Anschlußleiste. Diese Kontaktscheiben 63 bzw. 64 unterbrechen, sobald ihr Kontakt geöffnet ist, den Lauf des Motors 53 für die Drehrichtung, die eine Belastung bzw. eine Entlastung herbeiführen würde. Zum Abbremsen der rotierenden Energie des Motors 53 dient die

Stoppbremse k) (Bild 6), die als Doppelbackenbremse mit Bremsmagnet 65 ausgeführt ist. (Die elektrische Schaltung ist mit einer späteren Einrichtung kombiniert und wird weiter unten beschrieben.) Die Steuerungsorgane für den Be- und Entlastungstrieb sind der

linke Anschlag l), Schlitten m) und rechte Anschlag n) (Bild 5). Der Schlitten m) ist an die Bandkette 56 angekoppelt, wie auch die das Laufgewicht verschiebenden Zugorgane, sodaß die jeweilige Verschiebung des Schlittens m) identisch ist mit der des Laufgewichtes. Ein Zeiger

am Schlitten zeigt an einer feststehenden Skalenteilung die Verschiebung des Laufgewichtes in Teilstrichen an, (siehe Bild 5 rechts und Bild 7 links), woraus mit Hilfe eines Eichkurvenblattes (Bild 11) für die verschiedenen Zusatzgewichte zum Laufgewicht die Zugbelastung des Probedrahtes ermittelt werden konnten. Die linksseitige Bewegung des Schlittens m) wird begrenzt durch den linken Anschlag l), der in der Regel feststeht, und die Last nach unten, also in Entlastungsstellung, angibt. Das Gleiche gilt für den rechten Anschlag bezüglich der Belastungsstellung, nur daß dieser seiner Lage nach verschiebbar angeordnet ist, um den Grad der Belastung verändern zu können (Siehe weiter unten Absatz o). Der Stromverlauf beim Umschalten von Belastung auf Entlastung ist folgender: Von + l der Sammelschiene, Bremsmagnet 65, Regulierwiderstand 66, Umschaltspule 58, Kontakt 67, welcher durch den Kurzschließer 68 überbrückt wird, Rückleitung 69, Abreißkontakt 70, der den Stromkreis unterbricht, sobald durch die Spule 58 der Umschalter i) umgelegt ist, zurück an – l. Beim Uebergang von Entlastung auf Belastung (das Schema zeigt den ersterwähnten Fall) ändert sich der Stromverlauf in: Widerstand 66, Spule 57, Ueberbrückung 71, Rückleitung 72 und Abreißkontakt 73. Durch diese Schaltung in Verbindung mit dem Umkehrschalter i) kann also der Belastungswechsel hervorgerufen werden. Die Umschaltung erfolgt jedoch bei voller Stromzufuhr, was trotz Stoppbremse wegen etwaiger Spannungsschwankungen, die bei den Versuchen nicht unabwendbar waren (Netzschwankungen), zu Ungenauigkeiten in der Länge des Schlittenweges und damit der Belastung führte. Um dies zu vermeiden und gleichzeitig den Stoß bei der Bewegungsumkehr nicht nur des Schlittens, sondern besonders auch des Belastungsgewichtes zu mildern, wurde durch besondere Einrichtung der Stromkreis (II) des Be- und Entlastungstriebes h) schon vor Erreichen der jeweiligen Endstellung des Schlittens m) unterbrochen. Hierzu ist an der die Kontaktfedern tragenden Brücke des federgespannten Umschalters i) ein Anker 74 angebracht, welcher durch das Magnetsystem 75 so angezogen werden kann, daß die Kontaktfedern zwischen den Kontakten 61 und 61' bzw. 62 und 62' eine Mittellage einnehmen, also den Stromkreis des Motors 53 unterbrechen. Dieser Trennungszustand bleibt so

lange bestehen, bis der Schlitten m) in einer der beiden Endstellungen angekommen ist, d. h. eine Umlegung des Umkehrschalters erfolgt ist. In diesem Moment wird auch der Magnet 75 stromlos, gibt den Anker 74 frei, welcher — gezogen durch die in ihrer Spannlage geänderte Spannfeder — nun durchschwingt in die gegen die Ausgangsstellung entgegengesetzte Stellung, womit auch die Kontaktfedern aus ihrer Mittellage an den Gegenkontakten zur Anlage kommen. Damit ist auch wieder der Stromkreis II, jedoch in der bezweckten Umpolungsstellung, geschlossen. Diese Einrichtung, welche, wie schon oben gesagt, vor Erreichen der jeweiligen Endstellung des Schlittens m) in Wirkung tritt, wird durch diesen selbst gesteuert auf folgende Weise: Der Strom verläuft von Anschluß — III der Verteilerleiste über Vorschaltlampe 76, Magnet 75, Fahrdraht 77, Schleiffeder 78, Kontakt 79 bzw. 80 (je nach Bewegungsrichtung des Schlittens m), an die Rückleitung 69 bzw. 72, die mit dem Stromkreis I gemeinsam ist, also auch über den Unterbrechungskontakt 70 bzw. 73 an — III zurück.

Um ganz sicher zu gehen in der Konstanz der Be- und Entlastung wurde des weiteren noch die Einrichtung vorgesehen, den Motor 53 des Be- und Entlastungstriebes mit elektrischer Verzögerung an- und auslaufen zu lassen. Hierzu dient ein dem Anker parallel liegender, regulierbarer Nebenschlußwiderstand 81, welcher vermittels des Fahrdrahtes 82 (dieser und der oben erwähnte 77 sind auf Bild 5 rechts unter der Skala sichtbar) und Schleiffeder 83 einerseits, und Kontakt 84 bzw. 85 andererseits, zwischen die Ankerzuleitungen zwischengeschaltet werden kann. Diese Schaltung wird gleichfalls durch die Bewegung des Schlittens m) gesteuert. Die zeitliche Folge dieser und der vorbeschriebenen Einrichtung ist in dem Schaltplan bezogen auf Kontakt 71 (für den Entlastungslauf) eingezeichnet: Bei der Stellung x erfolgt die Verzögerung des Motorlaufes durch den Nebenschlußwiderstand, bei y wird der Kontakt am Umschalter, also der Motorstrom, unterbrochen, bei z erfolgt das Abstoppen des Motors durch die Stoppbremse und Umschalten. Der Rücklauf des Motors ist dann wieder bis x verzögert und ab da volltourig.

Für beide Endstellungen des Schlittens m) konnten so die Haltepunkte genau innegehalten werden, was besonders für

die Entlastungsstellung, in der ja die bleibende Dehnung zu registrieren war, von größter Wichtigkeit war. Die Genauigkeit dieser Stellung und ihre Uebertragung auf das Laufgewicht konnte an diesem selbst vermittels Zeiger und Marke kontrolliert werden. (Siehe Bild 5 Mitte unten.)

Soweit die Funktion der Steuerungsteile des Be- und Entlastungstriebes. Da nun durch den linken Anschlag l), der feststeht, und den rechten Anschlag n), der jeweils eingestellt wird, die Bewegung des Schlittens m) begrenzt ist, ergibt sich zwangläufig eine Einhaltung der unteren und der oberen Belastungsgrenze. Es war jedoch auch bedeutungsvoll, nicht nur Dauerversuche gemäß Vorgesagtem durchzuführen, sondern auch statische Zerreißversuche. Dies bedingt eine Zusatzeinrichtung, die ermöglicht, den rechten Anschlag n) nach je einmaliger Be- und Entlastung um ein bestimmtes Maß weiter nach rechts zu verschieben, sodaß auch die Belastungsgrenze steigend erhöht werden kann. Aus diesem Grund ist der rechte Anschlag verbunden mit der

Gewichtsverstellung o) (Bild 6), die im Prinzip ähnelt dem Be- und Entlastungstrieb. Der Motor 86 (mit angebautem Reduktionsgetriebe) treibt über ein weiteres Vorgelege 87 und Kettenrad 88 die endlose Bandkette 89, an welche der rechte Anschlag n) angeschlossen ist. Die Kontaktscheibe 90, welche auf der Vorgelegachse sitzt, steht in Wechselschaltung analog der unter a) beschriebenen Einrichtung des Papiervorschubes mit der Kontaktscheibe 91 der Schaltwalze s). Der zugehörige Stromkreis hat folgenden Lauf: Von — VII, Vorschaltlampe 92 und 93, Feld des Motors 86, Umkehrschalter 94, erst über Kontaktscheibe 91 und nach Anlauf über Kontaktscheibe 90, die den Stillstand wieder bewirkt zurück an — VII. Bei einmaligem Betätigungsspiel wandert so der rechte Anschlag um einen Skalenteilstrich weiter.

Es war eingangs bei dem Kapitel „Markierung" gesagt, daß die Anzahl der Registrierungen auf dem Papierstreifen markiert wird. Der Zeitpunkt der Registrierung, wie auch aller anderen damit verbundenen Bewegungsvorgänge und Schaltungen, wird beeinflußt durch den

Periodenschalter p) (Bild 6 rechts unten), der je nach Einstellung, nach jedem zehnten, hundertsten, tausendsten und zehntausendsten Belastungswechsel in Funktion tritt. Dieser Schalter 95 besteht aus einer vierfachen Zehnerunter-

setzung, deren 4 Achsen Ueberbrückungskontakte betätigen. Die erste Zehnerachse trägt ein zehnzähniges Steigrad, welches durch eine Klinke und Gestänge von dem auf der Vorlegeachse 54 mit Friktion aufgesetzten Mitnehmer 96 bei jedem Belastungswechsel um einen Zahn weitergeschaltet wird. Nach 10 Schaltungen hat also diese Achse eine Umdrehung gemacht, wobei für die Dauer einer Schaltung der Ueberbrückungskontakt überbrückt wird. Dieser gibt also die Zehnerperiode. Die Hunderterperiode liegt an der zweiten Achse, wobei jedoch der Kontaktschluß auch über den Zehnerkontakt geleitet wird. Analog erfolgt der Kontaktschluß für die Tausender- und die Zehntausenderperiode; zur leichteren Feststellung der gesamten Be- und Entlastungen dient außerdem der

Zähler q) (Bild 6 links unten), der gleichfalls von dem Mitnehmer 96 angetrieben wird.

Die Stromzufuhr an die einzelnen Verbrauchsstellen erfolgt von der

Hauptverteilungstafel r) (Bild 7 rechts vorn), wo alle Stromkreise angeschlossen sind. Desgleichen sind hier alle Vorschaltlampen angebracht. Letztere wurden deswegen gewählt — und danach Motore zur 110 Volt Betriebsspannung, bei Netzspannung von 220 Volt —, um bei evtl. Störungen ein Durchbrennen der Motore zu vermeiden. Ein weiterer Vorteil besteht darin, daß das richtige Funktionieren und Ineinandergreifen der einzelnen Schaltkreise am Aufleuchten der Vorschaltlampen übersichtlich kontrolliert werden kann. Für einen evtl. Drahtbruch (Ausschalten des Hauptschalters 42 durch Gewichtshebel 39, siehe oben) war auch hier ein optisches Zeichen in Form der Signallampe 97 vorgesehen, deren Erlöschen das Ausschalten der gesamten Apparatur anzeigt. Sicherungen und Maximalautomat in der Zuleitung zu den Verteilerleisten (in V) vervollständigen die Einrichtung. Zur Regulierung der Netzspannung war außerdem noch ein Spannungsregler (Bild 7 rechts oben) vorgesehen, welcher die Spannung von 220 Volt auf 210 Volt drosselte.

Die Seele des ganzen elektrischen Aufbaus ist die

Schaltwalze s) (Bild 7 rechts unten), die durch den Periodenschalter p) in Betrieb gesetzt wird. Hier erfolgt die Bewegung durch den Motor 98 über ein mit Fliehkraftregler

ausgestattetes Vorgelege 101. Der Stromkreis läuft von + VIII über Vorschaltlampe 102, Regulierwiderstand 103, Motor 98, erst zum Periodenschalter 95 und nach Anlauf über die Kontaktscheibe 99 zurück nach — VIII. Die zweite Kontaktscheibe 100 in diesem Kreis dient zur Schaltung des continuierlichen Laufes des Motors 98 bei Zerreißversuchen. (Siehe weiter unten.) Auf dieser Schaltwalze befinden sich außerdem die bereits oben erwähnten Kontaktscheiben des Papiervorschubes und der Markierung (21), der Gewichtsverstellung (91), der Funkenregistrierung (28) und des Be- und Entlastungstriebes (63 und 64). Die Abwicklung dieser Scheiben ist besonders gezeichnet (Bild 2, rechts unten), sodaß ihre Wirkungsweise und Folge ersichtlich ist. Zur Erläuterung diene folgendes: Nehmen wir den Fall eines Dauerversuches mit der Registrierung nach jedem hundertsten Belastungswechsel. An dem Periodenschalter ist der Abgriffstöpsel an der Buchse zwischen dem zweiten und dritten Ueberbrückungskontakt einzustecken. (Siehe Schema.) Nach 100 Belastungswechseln wird so die Schaltwalze in Bewegung gesetzt. Es folgen nun folgende Vorgänge: 1. der Belastungszug wird zu Ende geführt (über Kontaktscheibe 63) wie bei jedem Hub. Der Rückwärtsgang, also Entlastungshub, ist gehemmt durch Stromunterbrechung an Kontaktscheibe 64. 2. Durch Funkenregistrierung wird die elastische Dehnung (in der Belastungsstellung) markiert. 3. Es folgt der Entlastungshub durch Kontaktschluß an Scheibe 64; der etwa folgende Belastungshub ist jetzt unterbrochen an Scheibe 63. 4. Durch Funkenregistrierung wird die bleibende Restdehnung in Entlastungsstellung markiert. 5. Der Belastungshub folgt; der Periodenschalter wird unterbrochen, sodaß der Schaltwalzenmotor über Scheibe 99 Strom erhält. 6. Der Papiervorschub tritt in Tätigkeit; nach je 5 Spielen auch die Markierung. 7. Die Schaltwalze kommt zum Stillstand, die Be- und Entlastungshübe gehen ihren Fortgang.

Der Vorgang beim Zerreißversuch unterscheidet sich von dem oben gegebenen Verlauf nur darin, daß einzufügen wäre als: 3 a) Es folgt Weitergang der Belastungsgewichtsstellung; die Belastung wird um einen Skalenteilstrich gesteigert. Außerdem läuft der Schaltwalzenmotor, wie bereits erwähnt, über Kontaktscheibe 100 dauernd um.

Das Diagramm eines Zerreißversuches unterscheidet sich

demnach von dem eines Dauerversuches (siehe Bild 9) dadurch, daß die Linie der elastischen Dehnung nicht senkrecht und parallel (oder annähernd parallel) zur Linie der bleibenden Dehnung, sondern infolge der Belastungszunahme schräg geradlinig oder gekrümmt verläuft, wogegen die Linie der bleibenden Dehnung in ihrem Anfang zumeist senkrecht verläuft und dann erst in eine gekrümmte Linie analog der elastischen Dehnung übergeht. (Vergl. Bild 18 und 19.) Die linksseitig an dem Diagrammstreifen aufgeschriebene Hubmarkierung wird beim Zerreißversuch auch identisch mit der Einstellskala, da ja nach jedem Hub einerseits eine Weiterschaltung der Belastungs-Gewichts-Verstellung und andererseits eine Registrierung erfolgt, sodaß an der Markierung und an Hand des Eichkurvenblattes die Zugbelastung (für Belastungsstellung) bezw. die spezifische Zugspannung abgelesen werden kann. Die Restspannung (für Entlastungsstellung) jedoch war durch direkte Skalenablesung zu bestimmen. Die Einstellung einer evtl. Nullspannung war nicht möglich wegen des labilen Gleichgewichts des Gewichthebels und des Durchhanges des wagerecht liegenden Versuchsdrahtes.

Zur Messung der Anzahl der Belastungswechsel in Abhängigkeit von der Zeit dient noch ein Zeitschreiber t) (Bild 5), der jeweils bei einem Schaltvorgang der Schaltwalze in Tätigkeit tritt. Die Anzahl der Belastungswechsel beträgt im Mittel 10 000 in 24 Stunden (ein Doppelhub ca. 9 sek.); sie ist abhängig von der Differenz der Belastungs- und Entlastungsspannung, d. i. von dem Weg, den das Laufgewicht zurücklegen muß. Die jeweilige resultierende Belastungsgeschwindigkeit ist aus dem Eichkurvenblatt (Bild 11) ersichtlich.

Versuche.

Zur Durchführung der Versuche stand Drahtmaterial verschiedener Herkunft* zur Verfügung und zwar jeweils Proben aus den verschiedenen Wicklungsstadien, nämlich: 1. Die Originaldrähte im Urzustand, ungewickelt; 2. die Litzen, fertig zum Verseilen; 3. fertige Seile. Die nominelle Bruchfestigkeit (d. i. die von der Lieferfirma angegebene Festigkeit) lag zwischen 120 und 200 (230) kg/mm². Die

*) Fa. Adolf Deichsel, Drahtwerke und Seilfabriken, Hindenburg OS.; Felten &. Guilleaume, Carlswerk, Köln-Mülheim; Westfälische Drahtindustrie, Hamm i. Westf.

Versuch Nr. .... vom 19

Draht:
Herkunft ... ., Stärke . . .. mm, Querschnitt .

blank, verzinkt, verkupfert, nom. Festgkt. ... ... kg/mm²

(Seil besteht aus ..... Litzen à .....g .....g..... Drähten.)
(Schlagart: Längschlag — (Kreuzschlag)
(Gleichschlag — (Albertschlag).

Probe: Originaldraht; halbe Litze; ganze Litze.

Belastungsart:
Zerreißungsversuch: Belastung steig. v. „ " bis „ " (Skala)
b. Zusatzgew. ..... kg Entlastung bis „ ... " = ... kg/mm²
Bruch erfolgte bei „ ... " Festgkt. = ... kg/mm²
Dauerversuch: Belastet bis „ ... " (= kg), = ... kg/mm²
entlastet bis „ ... " (= kg), = ... kg/mm²
Messungen nach je .. .. Doppelhüben;
Gesamtzahl der Be- und Entlastungen
Messung der Dehnungen mit großer oder kleiner Uebers.
Meßlänge ..... mm; Dehnungsmaßstab
(Versuchs-Temperatur .....° C)

Besondere Beobachtungen:

Abb. 12

Drahtstärke betrug 0,6, 0,8 und 1,0 mm. Größere Drahtstärken konnten in das Versuchsprogramm nicht aufgenommen werden, weil die für die Litzen aus stärkeren Drähten erforderlichen Belastungen sich an der vorliegenden Apparatur nicht verwirklichen ließen. Die Drähte waren blank, verzinkt oder verkupfert.

Das ursprüngliche Versuchsprogramm sah Versuchsreihen vor, wie die nachstehend tabellarisch dargestellt sind:

1.	2.	3.
Belastung	Drahtstärke	nom. Bruchfestigkeit
kg/mm²	mm	kg/mm²
30	0,6	120 — 160; 160 —200
40	0,8	
50	1,0	
60		

Die Versuchsdaten waren also eine Kombination aus Belastung (Spalte 1), Drahtstärke (Spalte 2) und nominelle Bruchfestigkeit laut Angabe der Lieferfirma (Spalte 3). Diese Angabe wurde bei manchen Versuchen durch einen Zerreißversuch nachgeprüft, um die Uebereinstimmung mit den Lieferungsangaben festzustellen. Zu ermitteln war die bleibende Dehnung in % und die Anzahl der Belastungswechsel. Der Dauerversuch sollte als beendet gelten sobald entweder eine bleibende Dehnung von 0,01 % erreicht wurde, oder es sollten — wenn dies nicht der Fall war — 100 000 Belastungswechsel durchgeführt werden und die hierbei erzielte bleibende Dehnung registriert werden. Die Versuche wurden durchgeführt, zunächst nicht planmäßig Zeile für Zeile, sondern aus der Tabelle wurden wahllos und absichtlich möglichst extreme Versuche herausgegriffen, um so erst einen Anhalt zu gewinnen wie die bleibende Dehnung eintritt und fortschreitet, in Abhängigkeit von der Belastung und der Zahl der Belastungswechsel. Zu jedem Versuch wurde ein — gleichlautend mit dem zugehörigen Diagrammstreifen numeriertes — Protokoll ausgefertigt, in welchem alle notwendigen Daten für die spätere Auswertung festgelegt wurden. (Siehe Musterblatt, Abbildung 12.)

Die Versuche zeigten jedoch bald, daß eine Norm an Hand der Tabelle nicht aufzustellen war; es ergab sich, daß trotz gleicher oder wenig voneinander unterschiedener Ver-

suchsdaten, die Ergebnisse erheblich differierten. So betrug z. B. für verschiedene Drähte von 160 kg/mm² Festigkeit bei einem:

σ_z = 45	nach	8 000	Belastungswechseln	die Dehnung	0,003%,
„ = 50	„	20 000	„	„ „	0,005%,
„ = 64	„	50 000	„	„ „	0,005%,
„ = 75	„	32 000	„	Bruch ohne Dehnung,	
„ = 75	„	60 000	„	„ „	„
„ = 80	„	14 000	„	die Dehnung	0,03%.

Abbildung 13 zeigt in anschaulicher Weise die Streuung einiger Versuchsergebnisse.

Eine gleiche Unregelmäßigkeit zeigte sich auch in der Art und dem Verlauf der Zunahme der bleibenden Dehnung während der Dauerversuche. Dieses ist schematisch dargestellt in der Abbildung 14. Es wurden folgende Fälle festgestellt: a) es tritt überhaupt keine Dehnung ein; b) der Draht dehnt sich bleibend erst nach einer bestimmten Anzahl von Belastungswechseln; c) der Draht wird gleich mit Beginn des Versuches zunehmend bleibend gedehnt bis zu einer bestimmten Anzahl von Belastungswechseln und bleibt von konstanter Länge; d) die bleibende Dehnung nimmt zu von Anfang an während des Dauerversuches; e) der Draht zeigt eine sprunghafte bleibende Dehnung während des Versuches und bleibt dann konstant. Diese 5 Fälle wurden beobachtet bei einer oberen Belastungsgrenze bis zu 35% der Bruchfestigkeit des Drahtes, d. h. von 42—70 kg/mm² Belastung, bei 120—200 kg/mm² Festigkeit.

Bei höheren Belastungen kamen zu den vorgenannten Fällen noch folgende Möglichkeiten hinzu: f) der Draht dehnt sich bleibend erst langsam, dann schneller zunehmend; g) gleichmäßig stark zunehmend; h) erst stärker, dann schwächer zunehmend; i) der Draht bricht bei weniger als 50 000 Belastungswechseln ohne vorherige Veränderung seiner Ursprungslänge. In vereinzelten Fällen wurden auch negative Dehnungen, also bleibende Verkürzungen des Drahtes festgestellt und zwar trat diese dann bald mit Beginn des Versuches und nur bis zu einer geringen Zahl von Belastungswechseln (max. ca. 30) gleichmäßig negativ zunehmend in Erscheinung. Im weiteren Verlauf des Versuches wurde entweder k) die Ursprungslänge durch allmähliche Dehnung wieder erreicht oder l) eine weitere bleibende Dehnung über

die ursprüngliche Länge hinaus. Die Verkürzung trat auch m) plötzlich während des Versuches ein und ging allmählich wieder in zunehmende Dehnung über. Einige dieser Varianten sind in Bild 15 dargestellt und mit den nötigen Erläuterungen versehen. Nähere Untersuchungen über die Ursache der Kürzungen, die auf innere Spannungszustände aus der Fabrikation hindeuten, wurden im Rahmen der Arbeit nicht angestellt.

Gemäß dem ursprünglichen Leitgedanken der Versuche, nämlich zu ermitteln diejenige obere Belastungsgrenze, die ein Draht im Dauerversuch erträgt, ohne sich in bestimmten Grenzen bleibend zu dehnen, wären für die Auswertung nur die Versuche in Frage gekommen, deren Verlauf die Form der Charakteristik a) hatten, die also nach dem Dauerversuch keine Zunahme der restlichen Dehnung aufwiesen. Diese Bedingung wurde jedoch nur dann erfüllt, wenn die obere Belastungsgrenze 20% der Bruchfestigkeit des Drahtes nicht überschritt (24—40 kg/mm²).

Dieses Ergebnis erschien jedoch zu gering, besonders mit Rücksicht darauf, daß dieser Wert voraussichtlich eine Verringerung erfahren wurde beim Dauerversuch mit Litzendrähten, die gegenüber Urdrähten schon eine bleibende Deformation aufweisen, also einen anderen Gütegrund wie Urdrähte. In diesem Zusammenhang schien auch die Tatsache beachtlich, daß bei Zugversuchen allgemein schon kleinste Zugspannungen mit bleibenden Verformungen verbunden sind; wird doch auch die Elastizitätsgrenze von Normalmaterial definiert als diejenige Zugspannung, bei welcher die ersten bleibenden Verformungen eintreten und zwar bis zu einem Grenzbetrage von 0,003%. Darum wurden auch die Fälle in den Bereich der genaueren Untersuchung einbezogen, deren Dehnungscharakteristik die Form b), c) und d) hatten. Es erschien wichtig zu wissen, wie verhalten sich die Urdrähte, welche während eines Dauerversuches eine bleibende Zunahme der Dehnung zeigten, bei Fortsetzung des Versuches über (die programmäßigen) 100 000 Belastungswechsel hinaus. Hierzu wurde die obere Belastungsgrenze für die Versuche erhöht auf 30% der Bruchlast (35—60 kg mm²).

In Anbetracht der zeitlich langen Dauer der nun folgenden Versuche mußte das ursprüngliche Versuchsprogramm mehr reduziert werden und zwar wurden weiterhin fast aus-

schließlich nur noch Drähte von $\delta = 0{,}6$ mm untersucht. Bei diesen war nämlich infolge der (gegenüber $\delta = 0{,}8$ und 1,0 mm) geringen erforderlichen Zugbelastung die kürzeste Versuchszeit zu erreichen. (Siehe Versuchsgeschwindigkeit in Fig. 11.) Die nom. Festigkeit dieser Drähte war gestuft zu 120, 160 und 200 kg/mm² also auch nur nach 3 Sorten; die Auswahl aus blanken, verzinkten oder verkupferten Drähten wurde beibehalten. Die in dieser Versuchsreihe geprüften Drähte zeigten die Dehnungscharakteristiken a), b), c), d) und e). Unberücksichtigt blieben, d. h. nicht verwertet wurden diejenigen der Form e) (einmalige sprunghafte bleibende Dehnung). Auch die Versuche der Form b) und d) wurden nicht über die Normalwechselzahl (100 000) gesteigert, weil bei beiden eine weitere Zunahme der bleibenden Dehnung anzunehmen war. Lediglich die Versuche der Form a) und c) wurden bis zu 500 000 Belastungswechsel gesteigert. Auch hier machte sich eine Streuung unangenehm bemerkbar, insofern als bei Drahtproben, die fortlaufend von der gleichen Drahtrolle entnommen waren, bei an sich gleichen Versuchsbedingungen Abweichungen im Verlauf der Zunahme der Dehnung sich zeigten. Das unterschiedliche Verhalten lag darin, daß die zunehmende Dehnung teils schon nach 1000, teils erst nach bis zu 50 000 Belastungswechseln ihren Endwert erreichte.

Es ließ sich jedoch ein Merkmal herausfinden, daß nämlich bleibende Gesamtdehnungen bis zu 0,003%, welche innerhalb 50 000 Belastungswechseln erreicht wurden und bis zu 100 000 Wechseln nicht weiter zunahmen, auch hier keine Veränderung zeigten, wenn die Belastungswechsel über 100 000 gesteigert wurden. Diese Tatsache wurde eingehend nachgeprüft in mehreren Versuchen; allerdings mußte auch hier die Versuchsart geändert werden dadurch, daß die untere Belastungsgrenze (Restspannung) erhöht wurde. Auf diese Weise war es möglich — und dies war der Zweck der Annäherung der unteren Belastungsgrenze an die obere — die Versuchszeit, die nach der ursprünglichen Methode 25 Tage je Versuch betragen hätte, auf 15 zu beschränken. Eine weitere Aenderung gegenüber der bei allen anderen Versuchen geübten Versuchsart bestand darin, daß ein Registrieren der Dehnung teils nur noch nach 10 000 Belastungswechseln, teils überhaupt nicht mehr automatisch,

sondern nach Wahl und Bedarf erfolgte. Letzteres hatte den Vorteil, daß die Raumtemperatur während der Versuche (besonders während der Nacht) nicht mehr so kritisch auf dauernd gleicher Höhe erhalten zu werden brauchte; nur wenn die Augenblickstemperatur gleich war der Ausgangstemperatur, wurden Messungen eingeschaltet. Auf diese Weise wurde ferner erreicht, daß die Länge der Meßstreifen infolge der geringeren Zahl der Meßpunkte erheblich kürzer und damit eine evtl. Zunahme der Dehnung augenscheinlich schneller feststellbar war an der schräger verlaufenden Reihe der Meßpunkte. Der Streuung der Funkenregistrierung wurde begegnet dadurch, daß jeweils bis zu 3 Messungen in dichter Folge eingeschaltet wurden. Die Gesamtwechselzahl wurde nur am Hubzähler abgelesen und am Ende des Versuches registriert.

Die im Vorstehenden erläuterte Feststellung, wonach also auch bleibende Dehnungen bis zu 0,003%, die während einer Belastungswechselzahl von bis zu 50 000 erreicht waren, bei Fortsetzung des Dauerversuches über diese Zahl hinaus keine weitere Zunahme erlitten, wurde den weiteren Versuchen als Kriterium zugrunde gelegt. Des weiteren konnte damit das Prüfverfahren nunmehr beschränkt werden auf 50 000 Belastungswechsel pro Versuch. (2—3 Tage.) Die obere Belastungsgrenze betrug jetzt ca. 30% der Bruchfestigkeit der Drähte (35—60 kg/mm²), die Drahtstärken waren wieder 0,6, 0,8 und 1,0 mm. Die Gesamtheit aller, auch der noch folgenden beschriebenen Versuche, ist in Bild 16 tabellarisch zusammengestellt. Diejenigen Versuche, welche den gestellten Bedingungen (d. h. dem Kriterium) genügten, konzentrieren sich — wie dort ersichtlich — unabhängig von der jeweiligen zur Prüfung benutzten Drahtstärke nach der Grenzlinie a), die somit identisch ist mit der gesuchten Dauerfestigkeit. Die gefundenen Werte sind in das Diagramm der Dauerfestigkeit (Fig. 17) als Funktion der Bruchfestigkeit übertragen.

Zur Form der Kurve muß ergänzend nachgetragen werden, daß sie für Drähte über 200 kg/mm² Festigkeit keine weiter steigende Tendenz zeigte, sondern eine Konstanz mit den für 200 kg/mm² Festigkeit geltenden Werten der Dauerfestigkeit. Hierin liegt jedoch eine gewisse Unsicherheit insofern als für die Versuche nur eine einzige Drahtsorte

(230 kg/mm² bei $\delta = 1{,}0$) zur Verfügung stand, Vergleichsversuche mit einer anderen Drahtsorte gleicher Beschaffenheit also nicht möglich waren.

Nachdem so die Grundlagen, nämlich die Ermittlung der Dauerzugfestigkeit der Originaldrähte, geschaffen war, folgte die Dauerprüfung von gewickelten Drähten. Die Prüfung von einzelnen Drähten, die aus gewickelten Litzen entnommen wurden, mußte ausscheiden, weil der herausgelöste wegen seiner spiraligen Form, durch den Zugversuch zusätzlichen Biegungs- und Torsionsbeanspruchungen unterworfen worden wäre, ähnlich einer Spiralfeder. Um eine geradgestreckte Form deformierter Drähte zu erhalten, wurden darum folgende Zwischenversuche gemacht. Die Originaldrähte wurden auf einem Rundstab von ca. 30 mm Durchmesser spiralig aufgewickelt, unter Anwendung eines verschwindend geringen Zuges auf den Draht; nach Auslassen der Spannung aus der so gewonnenen Spirale betrug der Windungs-Durchmeser ca. 100 mm. Diese Spirale wurde dann wieder aufgerollt und in die Apparatur eingespannt. Durch das Aufrollen ergab sich eine weitere Deformation, nämlich die Biegung wieder zur Geraden, oder einer angenäherten Form, zurück. Obwohl diese doppelte Deformation, Biegen und Wiedergradrichten, nicht der Deformation eines in Litzenform gewickelten Drahtes entspricht, wurde vorerst diese Methode angewendet, um bei gerader Form der Drähte Vergleichs- und Anhaltswerte in Bezug auf die Originaldrähte zu finden. Diese Proben wurden zunächst im einfachen Zugversuch untersucht. Das Diagramm eines solchen Versuches zeigt z. B. Bild 18 und 19, Kurvenpaar d: Der Versuchsdraht hatte eine nom. Bruchfestigkeit von 200 kg/mm² (die laut Diagramm auch erreicht wurde); der Versuch wurde begonnen bei einer Belastung von 73 kg/mm², die langsam gesteigert wurde. Die Entlastung erfolgte jeweils bis auf 56 kg/mm². Das Gegenstück dazu ist der Zerreißversuch eines Originaldrahtes der gleichen Drahtsorte wie vor, unter gleichen Versuchsbedingungen, dessen Verlauf in Kurve c) wiedergegeben ist. Ein Vergleich beider Kurvenpaare zeigt deutlich, daß durch die Deformation — Biegung und Wiedergeradrichten — die Streckgrenze des Drahtes herabgesetzt wurde.

Es mag hier gleich eingeschaltet werden auch die gegenteilige Beobachtung, nämlich die Erhöhung der Streckgrenze. Veranschaulicht wird dieses durch die Kurvenpaare a) und b) und zwar ist a) das Spannungs-Dehnungs-Diagramm eines Originaldrahtes, Versuch abgebrochen kurz vor dem Bruch, und b) derselbe Versuch mit demselben Draht wiederholt. Die hieraus ersichtliche Erhöhung der Streckgrenze ist insofern interessant, weil sie erkennen läßt, daß für Drähte die Streckgrenze als Festigkeitsmaßstab ungeeignet ist im Vergleich zu anderen Materialien, bei denen die Kenntnis der Streckgrenze dem Konstrukteur erwünscht ist. Diese Unsicherheit in der Beurteilung des Drahtmaterials an Hand der Streckgrenze allein hat ihren Grund in der Herstellungsart der Drähte, nämlich dem Ziehprozeß. Diese Kaltverformung hat, abgesehen von der bezweckten Querschnittsverminderung der Drähte, eine Veränderung ihrer mechanischen Eigenschaften analog jedem anderen Material zur Folge, z. B. Erhöhung der Elastizitätsgrenze, Streckgrenze und Zugfestigkeit. Durch das zwischen die einzelnen Ziehvorgänge eingeschaltete Glühen und durch das nach dem letzten Ziehen erfolgende Vergüten, gehen obige als Verfestigung bezeichnete Eigenschaftsänderungen teilweise und unvollkommen zurück. In dieser Unvollkommenheit und Gesetzeslosigkeit liegt auch das bereits des öfteren erwähnte Streuen der Versuchsergebnisse, bei sonst gleichen Versuchsbedingungen, begründet.

Bei den Versuchen mit deformierten Drähten war also eine Verminderung der Dauerfestigkeit gegenüber den mit Originaldrähten gewonnenen Werten zu erwarten. Zu diesen Versuchen wurden nun Litzen verwendet, die aus dem gleichen Drahtmaterial gewickelt waren, wie die eingangs geprüften Originaldrähte. Die Litzen bestanden aus: 1 Kerndraht, 6 Drähte der ersten Decklage und 12 Drähte der zweiten Decklage, zusammen 19 Drähte. Um auch bei diesen Versuchen geringere Gesamtbelastungen (= effektive Zugkräfte) mit der Apparatur verwirklichen zu müssen, was zugleich eine Verkürzung der Versuchsdauer bedeutete, wurden nur sogenannte Halblitzen verwendet. Diese wurden gewonnen aus ganzen Litzen, dadurch daß von diesen die zweite und — wenn eine solche vorhanden war — auch die dritte Decklage vorsichtig abgewickelt wurde. Besondere Aufmerksam-

keit wurde der Erhaltung des ursprünglichen Dralles gewidmet und jedes Aufdrehen der halben Litzen vermieden. Diese halben Litzen bestanden also nur noch aus dem Kerndraht und der ersten Decklage, also zusammen 7 Drähten. Da nicht mit Bestimmtheit gesagt werden kann, wie sich die Aufnahme der Last anteilig verteilt auf den geraden Kerndraht und die 6 gewickelten Drähte der Decklage, wäre der Ersatz des Kerndrahtes, welcher aus dem gleichen Drahtmaterial wie die Deckdrähte bestand, durch einen sogenannten Fülldraht erwünscht gewesen. Dieser Draht, am besten weicher Eisendraht geringer Festigkeit und großer Dehnung, hätte nur — wie der Name sagt — den Zweck zu erfüllen, den durch die 6 Drähte der Decklage im Innern gebildeten Hohlraum auszufüllen und dem schlauchförmigen Gebilde der Decklage einen Halt zu geben, ohne an der Aufnahme der Last beteiligt zu sein. Diese besondere Form war zu Versuchszwecken jedoch nicht erhältlich, obwohl sie bei manchen Drahtseilkonstruktionen gebräuchlich ist, analog der Einlage einer Hanfseele. Mit Rücksicht auf das Verhältnis 6 : 1 (Drähte der Decklage: Kerndraht) wurde daher auf diese besondere Ausgestaltung der Proben verzichtet.

Abgesehen von der Erhaltung des Dralles wurde das Aussehen der halben Litzen eingehend geprüft. Ausgeschieden wurden die Proben, die keine exakte dichte Wicklung zeigten, bei denen durch die einzelnen Drähte der Decklage der Kerndraht sichtbar wurde. Unbrauchbar waren auch solche Litzen, deren Drähte an der Oberfläche durch den Wickelprozeß hervorgerufene Abschürfungen zeigten.

Die durchgeführten Versuche bestätigten die Vermutung, daß die Dauerzugfestigkeit niedriger ausfallen würde, als bei den Originaldrähten. Während dieselbe bei letzteren ca. 30% der Bruchfestigkeit betrug, ging sie bei gewickelten Drähten auf ca. 25% zurück (Grenzlinie b in Abbildung 16). In der graphischen Darstellung sind die Werte der Dauerzugfestigkeit für Litzen als Kurve b (Abbildung 17) eingezeichnet. Zur Ergänzung dieser Versuche wurden auch 19 drähtige, also ganze Litzen der Drahtstärke 0,6 geprüft; hierbei ergab sich eine Uebereinstimmung mit den bei halben Litzen getroffenen Werten der Dauerzugfestigkeit.

Der nächste Schritt wäre nun der gewesen, in ähnlicher Weise wie Drähte und Litzen auch Seile im Dauerversuch

zu prüfen. Hierzu genügten jedoch nicht die Abmessungen der Versuchseinrichtung, sodaß die für Seile erforderlichen Lasten nicht verwirklicht werden konnten. Trotzdem erscheint die weitere Folgerung richtig, daß nämlich die Dauerzugfestigkeit der Seile noch niedriger liegt als die der Litzen. Das Verseilen der Litzen zu Seilen ist gleichfalls ein Verformungsvorgang ähnlich dem Wickeln der Drähte zu Litzen, nur daß in letzterem Falle der Grad der Verformung stärker ist, als beim Verseilen: Die Krümmungsradien nehmen ja mit jeder Stufe der weiteren Verseilung zu, d. h. die Drähte werden weniger deformiert. Es erscheint darum angebracht, die Werte für die Dauerfestigkeit der Seile noch weiter zu reduzieren. Diese Verminderung ist in Fig. 17, Kurve c, so gewählt, daß der gleiche Prozentsatz in Abzug gebracht wurde, wie beim Uebergang von Originaldrähten zu Litzen. In der Größe dieses Abzuges liegt eine gewisse Sicherheit insofern, als nach dem Vorausgesagten die Verminderung der Dauerzugfestigkeit beim Schlagen der Litzen zu Seilen nicht den gleichen starken Deformationsgrad zur Ursache hat, als beim Wickeln von Originaldrähten zu Litzen, sodaß also die Verminderung der Dauerzugfestigkeit im ersten Falle wahrscheinlich nicht den gleichen Betrag erreicht wie im zweiten Falle (nämlich 5%).

Hiernach also wäre die Dauerzugfestigkeit für Seile ca. 20% der Bruchfestigkeit: eine Bestätigung dieser, aus den Versuchen mit Originaldrähten und Litzen abgeleiteten Folgerung muß späteren Versuchen vorbehalten bleiben.

Auf Grund dieser experimentellen Ermittelung der Dauerzugfestigkeit wird nachfolgend eine neue Art der Berechnung von Drahtseilen vorgeschlagen. Die Beanspruchungen der Seile im Betrieb setzen sich, wie schon eingangs erwähnt, aus Zug- und Biegungsbeanspruchungen zusammen. Letztere sind bedingt durch die zur Umlenkung der Seile benutzten Rollen; hierbei ist der Durchmesser der Rolle ein wichtiger Faktor; hinzu kommt der Durchmesser der im Seil versponnenen Drähte. Diese beiden bei der Biegungsrechnung in Frage kommenden Faktoren legen die zahlenmäßige Berechnung der Biegungsspannung fest. Wenn also z. B. einmal für eine Anlage der Rollendurchmesser und die Drahtstärke des Seiles festgelegt sind, erscheint die Biegungsbeanspruchung in der Seilberechnung gewissermaßen als

Konstnate. Die noch zulässige Zugbeanspruchung ergibt sich dann als Differenz zwischen Dauerzugfestigkeit und Biegungsbeanspruchung. Schaubildlich ist dies dargestellt in Bild 20. Ist z. B. die Drahtstärke gewählt $\delta = 0{,}6$ mm, Rollendurchmesser = 600 mm, so ergibt sich eine Biegungsbeanspruchung (mit $E = 2{,}2 \cdot 10^4$ kg/mm²) zu σ_b*) = 22 kg mm². Die nutzbare Zugbeanspruchung beträgt bei einer Dauerfestigkeit von 25 (40) kg/mm² dann 25 (40) minus 22, also = 3 (18) kg/mm². Wird die Drahtstärke für diesen Fall vergrößert, so erhöht sich die Biegungsspannung: die noch zulässige Zugbeanspruchung nimmt ab. Um hier eine größere Zugbeanspruchung noch zu ermöglichen, ist wie ersichtlich, auch der Rollendurchmesser zu vergrößern; die Biegungsbeanspruchung fällt damit wieder geringer aus.

Aus dieser Darstellung erhellt, daß ein Seil am besten als Zugelement ausgenutzt werden kann, wenn von vornherein für größtmögliche Rollendurchmesser gesorgt wird und möglichst dünne Drähte zur Anwendung kommen. Für letzteres sind allerdings die eingangs angegebenen Gesichtspunkte (Oberflächenverschleiß und Korrosion durch atmosphärische und chemische Einflüsse) nicht außer Acht zu lassen.

Eine Erweiterung des Bildes 20 stellt das Bild 21 dar in logarithmischer Darstellung.

Die im Vorstehenden entwickelten Rechnungsgrundlagen sollen im folgenden mit praktischen Beispielen verglichen werden und zwar an Hand von Nachrechnungen von Seilbetrieben, von denen Konstruktionsdaten und Betriebsresultate bekannt sind. Hierzu mögen die in dem „Erfahrungsmaterial über das Unbrauchbarwerden der Drahtseile" (Forschungsarbeit VDI. Nr. 177, v. C. Bach, 1915) zusammengestellten Seilstatistiken benutzt werden. Diese Angaben

*) Berechnet aus: $\sigma_b = E \cdot \frac{\delta}{D}$; da $\sigma_b = \frac{M}{W} = \frac{M}{J} \Big/ \frac{\delta}{2}$

$$\frac{1}{\rho} = \frac{M}{E \cdot J} = \frac{1}{D} \Big/ \frac{1}{2}$$

beziehen sich auf Seile verschiedener Betriebe (Kran- und Aufzugseile, Fa. Gebr. Sulzer, AG., Winterthur; Borsig, Berlin-Tegel; AEG.) und enthalten alle Angaben betreffend Tragkraft, kleinsten Rollen- oder Trommeldurchmesser, Drahtstärke, Art des Betriebes, nämlich ob sehr stark, stark oder mäßiger Betrieb, Betriebsdauer in Jahren und Monaten und die Ursache der Seilauswechslung. (Andere Angaben, wie Hubgeschwindigkeit, Seilführungsart, Seildurchmesser, Seilbauart insbesondere Flechtart, Zahl der Hauptlitzen, Zahl der Drähte in der Litze vervollständigen die Daten.) Von den gesamten 160 verschiedenen Seilen sind 120 ausgewählt nach dem Gesichtspunkt, daß nur solche zur Auswertung herangezogen wurden, deren Art des Betriebes als streng, stark oder überlastet bezeichnet ist; und von diesen nur solche, deren Zustand als Grund für das Ablegen gekennzeichnet ist als „Brechen der Drähte ohne Verschleiß", (einige auch „bei geringem Verschleiß") oder die innerhalb kürzester Zeit zu Bruch gingen. Nur diese eingeschränkte Auswahl kann gegenübergestellt werden den vorliegenden Versuchen, weil bei stark verschlissenen Seilen der verminderte Drahtquerschnitt und die damit verbundene Erhöhung der Spannung über die Zugfestigkeit hinaus den Bruch in der Hauptsache verursacht. Die eigentliche Kranarbeit beträgt, wie für einige Seile angegeben, durchschnittlich 70 bis 80% der gesamten Werkstättenarbeitszeit, wobei rund 55% des Kranbetriebes sich auf ¼ bis ½ Last, 30% auf ¾ und 15% auf voller normaler Höchstlast bewegt. Da mehreren der angegebenen Seile die gleichen konstruktiven Daten sowohl bezüglich Seil- und auch Rollenabmessungen und Nutzlast zu Grunde liegen, ergibt sich eine interessante Gegenüberstellung bezüglich der Lebensdauer. Zur besseren Uebersichtlichkeit ist die Betriebsdauer in Abhängigkeit von der rechnungsmäßigen Biegungsbeanspruchung σ_b und der Zugbeanspruchung σ_z in einem räumlichen Schaubild, Abbildung 22 a, dargestellt. Durch besondere Begrenzungslinien sind die Teile der σ_z σ_b Ebene abgegrenzt, für welche die Summe von $\sigma_z + \sigma_b$ den gleichen Gesamtbetrag erreicht. Die Darstellung zeigt, daß die rechnerische Gesamtbeanspruchung der Seile, abgesehen von den Aufzugseilen (Nr. 1—4,6—8), größtenteils zwischen 5500—8000 kg/cm² liegt, wobei der größte Anteil, nämlich 4—5000 kg/cm² allein schon

auf die Biegungsbeanspruchung und nur 1500—3000 kg/cm² auf die Zugbeanspruchung entfallen. Wenn auch angenommen werden kann, daß die Seile nicht dauernd die volle Nutzlast trugen, sondern durchschnittlich nur mit einer geringeren, als der rechnerischen Zugbeanspruchung belastet waren, so sind doch noch die Gesamtbeanspruchungen recht erheblich. Leider ist in den zur Auswertung benutzten Tabellen die Bruchfestigkeit der Drähte nicht vermerkt; nimmt man diese mit ca. 160—180 kg/mm² an, so wäre nach den in vorliegender Arbeit gewonnenen Werten die Dauerfestigkeit ca. 35 kg/mm². Dieser Wert wird aber von allen Seilen der Seilstatistik überschritten, zum größten Teil allein schon durch die Biegungsbeanspruchung. Die Seile müssen also alle als überbeansprucht bezeichnet werden. Fragen wir nun nach der Lebensdauer dieser Seile, so sagt uns das Diagramm 22 b, daß die Betriebsdauer — wenn auch sehr verschieden, so doch im Mittel — gering ist. In dem Diagramm sind die Seile geordnet nach Betriebsmonaten zusammengestellt. Die größte durchschnittliche Betriebszeit beträgt 15 Monate bei 18% der Seile, und nur 2% erreichen eine Lebensdauer über 2½ Jahre, während 21% bereits innerhalb 9 Monaten gewaltsam zu Bruch gingen. Was noch die Belastung anbetrifft, so ist zu vermerken, daß ca. 40% aller Seile mit durchschnittlich 6500 kg/cm² Belastung erscheinen, was allerdings nur rechnerisch für Vollast zutrifft. Die hohen, scheinbar möglichen Belastungen — aus dem Diagramm sind sogar 4 Seile mit einer Belastung von 10500 kg/cm² (!) ersichtlich — wurden zu dem Trugschluß benutzt, daß bei der Berechnung der Biegungsbeanspruchung nicht der volle Elastizitätsmodul, sondern nur $^3/_8$ in Rechnung gestellt zu werden brauchen. Dem steht aber gegenüber (gemäß Darstellung), daß bei einer Belastung bis 6500 kg/cm² schon 10 % der Seile, bei allen in Betracht gezogenen Belastungsfällen 21% der Seile zu Bruch gingen. Diese Tatsache spricht wohl am besten gegen den Faktor $^3/_8$.

Eine Widerlegung der Berechtigung dieses Faktors unternahm, wie bereits erwähnt, Woernle durch Dauerversuche gleichfalls an Drähten, Litzen und Seilen. Diese Versuche erstreckten sich auf die Feststellung der Anzahl der Biegungen (und Zählen der Brüche bei Litzen und Seilen),

welche die Proben beim Lauf über Rollen verschiedener Durchmesser ertrugen bis zum Bruch. Die Rollendurchmesser bei diesen Untersuchungen, waren jedoch so klein im Verhältnis zu den Seilabmessungen, daß die dort verwirklichten Biegungsbeanspruchungen auch über den in vorliegender Arbeit gefundenen Werten der Dauerfestigkeit liegen. Wenn darum auch die dortigen Zahlen keinen Vergleich mit den vorliegenden Ergebnissen zulassen, so bestätigen doch die erreichten Biegewechselzahlen, daß die zulässigen Beanspruchungen bei Einführung des vollen Elastizitätsmodulus in die Rechnung weit niedriger liegen müssen als die wirklichen Beansprucuhngen, selbst wenn sie mit dem Faktor $^3/_8$ errechnet werden.

Den gebräuchlichen und übertrieben hohen Beanspruchungen steht gegenüber auch eine schätzungsweise Angabe der zulässigen Belastungsgrenze, wie sie von Stromeyer* in Abbildung 23 gegeben wurde. Diesen Angaben liegen zu Grunde Dauerversuche von Wöhler, welcher Achseneisen (Zugfestigkeit 33 kg/mm²) wiederholten Belastungswechseln unterwarf und für verschiedene Belastungsgrenzen die Zahl der Belastungswechsel bis zum Bruch ermittelte (s. die eingezeichneten Punkte). Hierbei sind die Belastungsgrenzen, welche ohne Bruch Wechselzahlen von 500 000 000 erreichen lassen, mit Arbeitsfestigkeit bezeichnet worden. Das so entstandene Diagramm gibt nun auch Hinweis, wo die Grenzen der zulässigen Wechselbeanspruchungen für einige typisch beanspruchte Maschinenelemente liegen. So ist für Drahtseile 28 kg/mm² als obere Belastungsgrenze angegeben, was eine gute Uebereinstimmung mit dem Ergebnis der vorliegenden Arbeit bedeutet, wenngleich sie nur theoretischen Wert hat, weil die Angabe auf Schätzung und nicht auf wirklich praktisch durchgeführten Versuchen mit Seilen beruht.

Eine weitere Gegenüberstellung der Ergebnisse der vorliegender Arbeit mit bereits bekannten Ergebnissen, die aus Dauerversuchen stammen, ist zur Zeit nicht möglich. Es könnten zum Vergleich herangezogen werden nur Dauerversuche, die mit Drähten, d. h. aus dem kaltverfor-

*) Stahl und Eisen 1924, S. 686: „Ermüdungserscheinungen und Dauerversuche".

menden Ziehverfahren gewonnenen Materialien, angestellt wurden. Diese erstreckten sich, soweit bekannt, ausschließlich nur auf die sogenannten Biegerollenversuche*. Der Mangel an Versuchsergebnissen, insbesondere dynamischen Zugversuchen an Drähten ist auch nicht weiter verwunderlich. Die Forderung der Ermittelung der Dauerfestigkeit ist erst in den letzten Jahren mehr und mehr in den Vordergrund getreten. Zweifellos paßt sich die Dauerbeanspruchung den Anforderungen der Praxis besser an, als der gewöhnliche Zugversuch; die Ausführung jedoch solcher Versuche ist wegen der großen Versuchsdauer sehr umständlich. Andere Prüfverfahren, die einem abgekürzten Dauerversuch gleichwertig wären und Aufschluß geben können über die zerstörende Wirkung wechselnder Belastungen sind noch nicht genügend entwickelt.

Mehr als Ergebnisse aus Dauerversuchen finden sich hingegen Versuche, dem Drahtseilproblem rechnerisch beizukommen. Es verlohnt sich jedoch nicht der Mühe, diese kritisch zu beleuchten, weil mehr oder minder hierbei von Voraussetzungen ausgegangen wird, die für Drähte, besonders nach der Verseilung, nicht mehr zutreffen. Dem Kernpunkt des Drahtseilproblemes ist nur durch praktische Versuche beizukommen, Versuche, welche der Kaltverformung der Drähte beim Wickeln zu Litzen und Seilen Rechnung tragen, wie auch dem kaltverformenden Herstellungs-(Zieh-) Prozeß der Drähte selbst.

Die vorliegende Arbeit mag darum, wenngleich auch in diesem Umfang diese Frage nicht vollständig erschöpft werden kann, als Beitrag zur weiteren Klärung gewertet werden.

---

*)Vgl.: Woernle, Ein Beitrag zur Klärung der Drahtseilfrage. Z. d. VDI. Bd. 73 (1929) Nr. 13.

Quellennachweis.

Ztschr.: VDJ.: 1927, S. 26, Chronik 1926 „Aufzüge".
1926, S. 341, Werkstoffprüfung d. Praxis.
1926, S. 495, Werkstoff-Forschung.
1927, S. 62, Werkstoff-Prüfung.
1927, S. 517, Ueber die Biegefähigkeit v. Seildrähten (Mittlg. aus d. Staatl. Materialprüfungsamt).
1928, S. 345, Ansprüche an Förderseile u. ihre Prüfung (v. Herbst).

Ztschr. Stahl u. Eisen, 1924, S. 686: „Ermüdungserscheinungen und Dauerversuche".

Ztschr.: Fördertechnik u. Frachtverkehr, 1926, S. 367, Ziebolz, Beanspr. v. Seilen im Förderbetrieb.
1923, S. 247 „Buchbesprechung".
1924, Heft 9 Seilberechnung.
1925, Heft 2 Seilberechnung.

Woernle, Diss. Karlsruhe 1915: „Versuche über das Verhalten von Drahtseilen gegenüber Biegung".

Rubin, Diss. Karlsruhe 1920: „Steifigkeit von Kran- und Aufzugseilen".

Benoit, „Die Drahtseilfrage". Hofdruckerei Karlsruhe 1915.

„Amtl. Bestimmung über Einrichtung und Betrieb von Aufzügen". III. Auflage, Jaeger-Ulrichs-Wolter, 1927.

Sachs-Fieck, „Der Zugversuch". Akad. Verlags-GmbH. 1926.

Altpeter, „Die Drahtseile, ihre Konstruktion und Herstellung", Boerner, Verlagsbuchhandlung, Halle (Saale) 1926.

„Leitsätze für die Seilfahrt im preuß. Bergbau". Sonderheft 1925 der Ztschr. f. Berg-, Hütten- u. Salinenwesen im Preuß. Staate, Verhandlungen und Untersuchungen der Preuß. Seilfahrtkommission; IV. Heft.

Mitteilungen aus dem Materialprüfungsamt und dem Kaiser-Wilhelm-Institut für Metallforschung, Berlin-Dahlem. Neue Folge, Heft 6, S. 131 „Drahtseiluntersuchungen". (Verlag Springer 1927.) S. 133 „Festigkeitsversuche".

Forschungsarbeiten, VDI., Heft 177, 1915: „Erfahrungsmaterial über das Unbrauchbarwerden der Drahtseile".

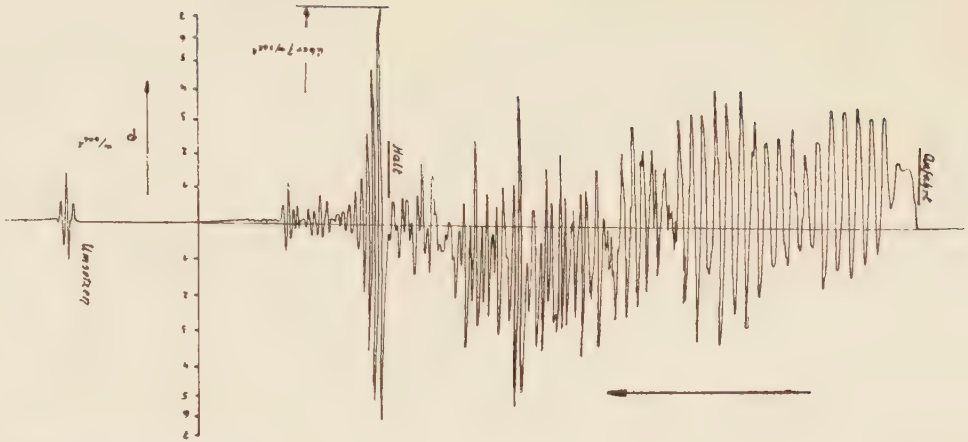


Abb. 1

Beschleunigungsdiagramm einer Förderanlage, aufgenommen im Förderkorb mit dem Siemens'schen Vertikal-Beschleunigungsmesser „Schachtprüfer nach Jahnke-Keinath".

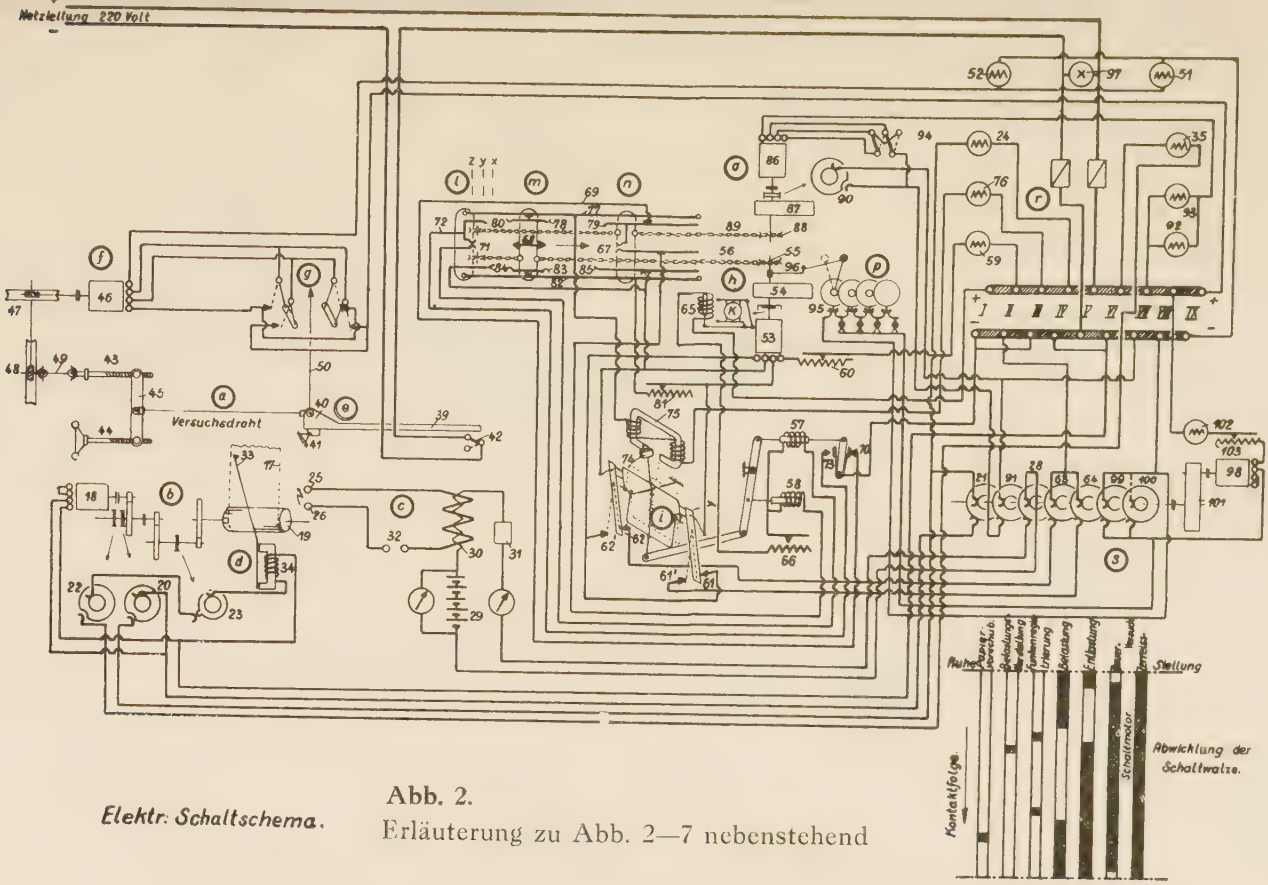


Abb. 2.
Erläuterung zu Abb. 2—7 nebenstehend

Elektr. Schaltschema.

Erläuterung zu
Abb. 2—7

a) Meßvorrichtung
b) Papiervorschub
c) Funkenregistrierung
d) Markierung
e) Gewichtshebel
f) Regulierwerk
g) Regulierschalter
h) Be- und Entlastungstrieb
i) Umkehrschalter
k) Stoppbremse
l) linker Anschlag
m) Schlitten
n) rechter Anschlag
o) Gewichtsverstellung
p) Periodenschalter
q) Zähler
r) Hauptverteilungstafel
s) Schaltwalze
t) Zeitschreiber

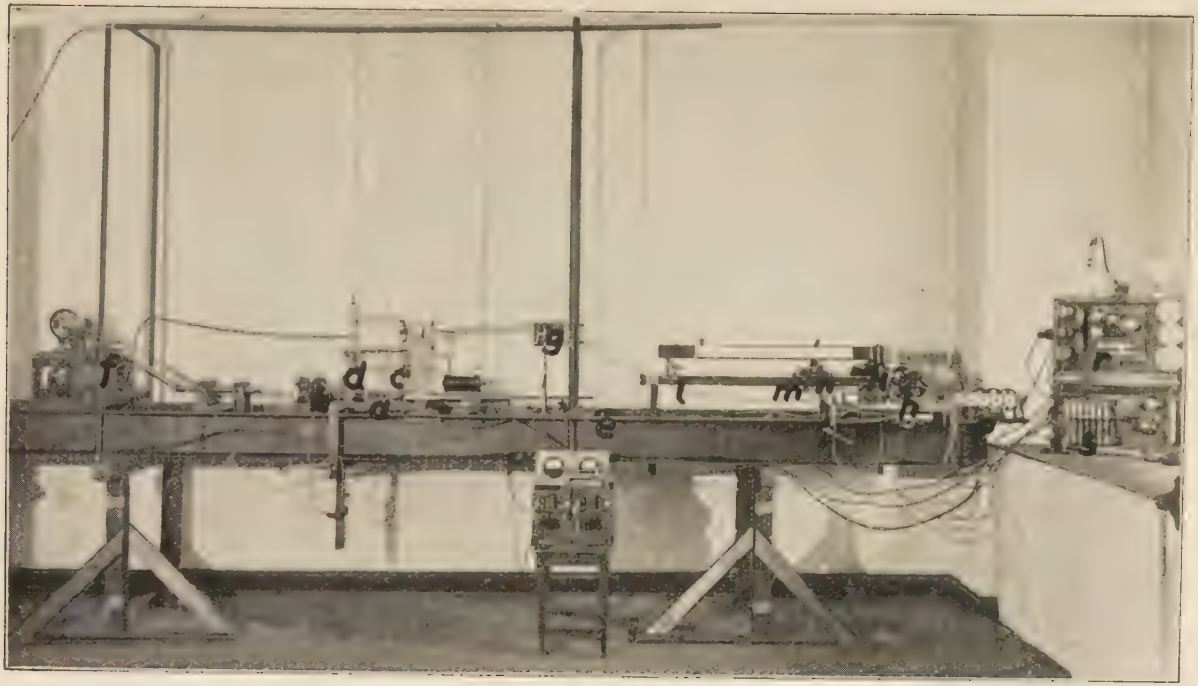


Abb. 3

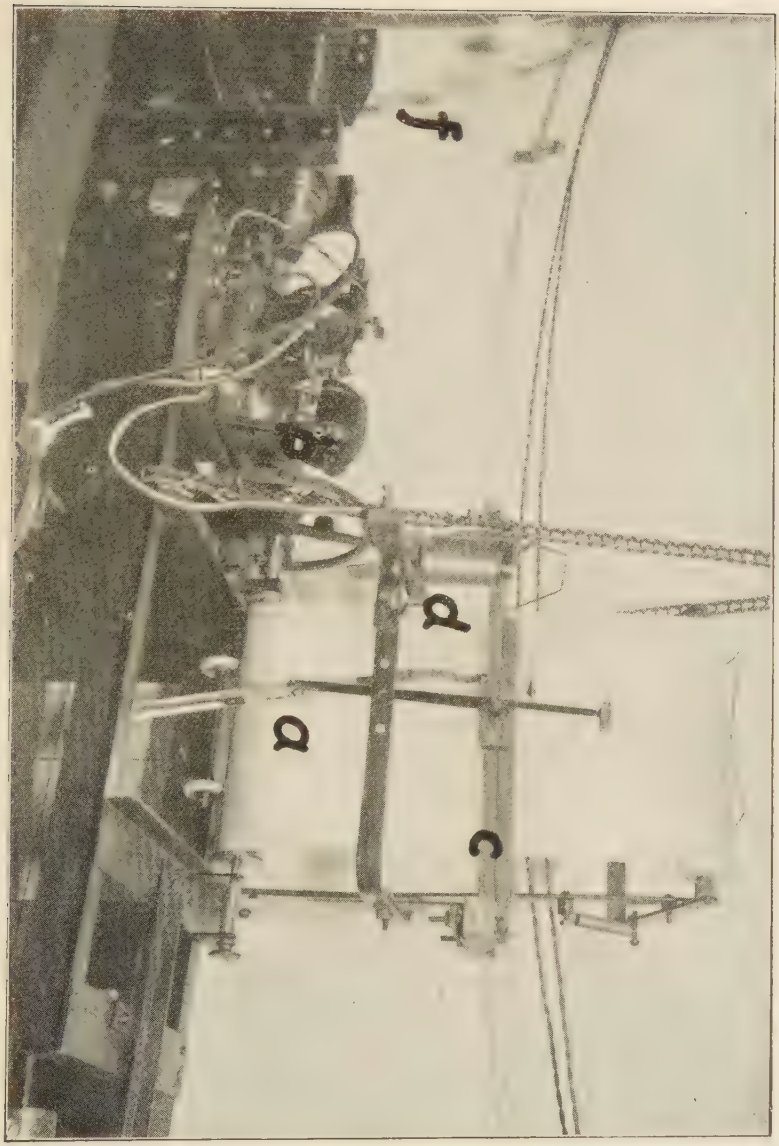


Abb. 4

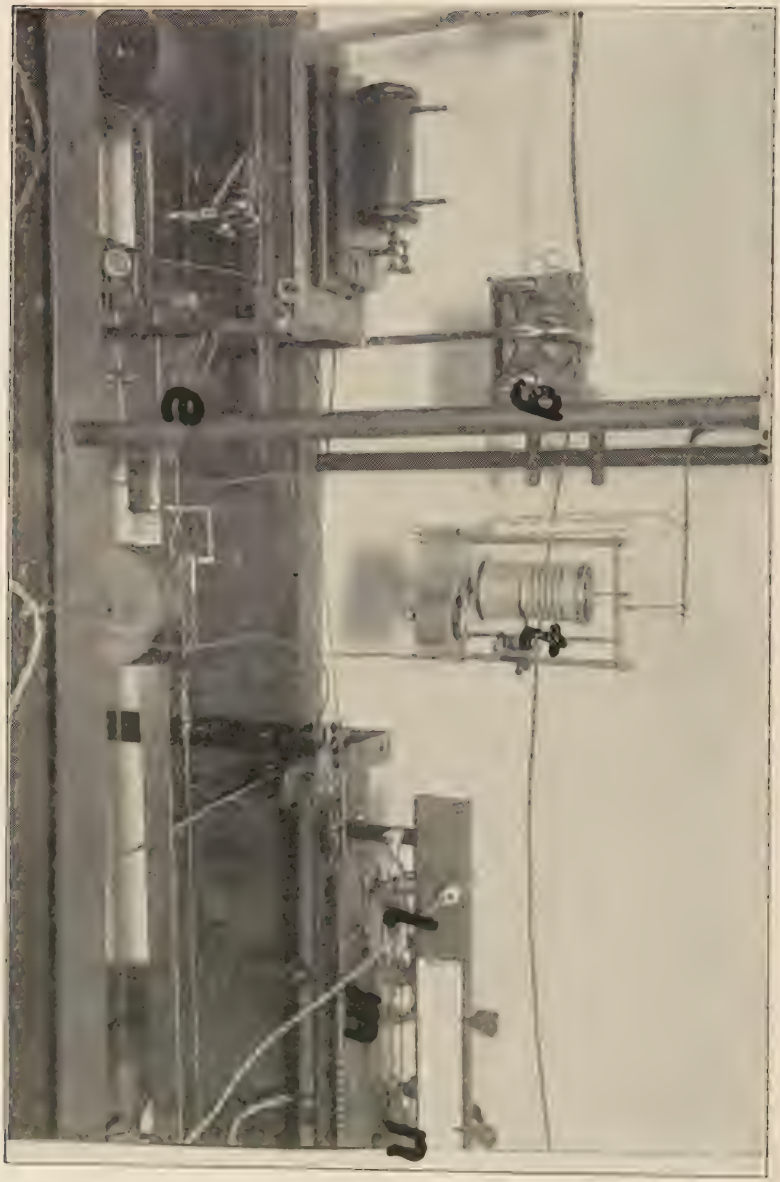


Abb. 5

Abb. 6

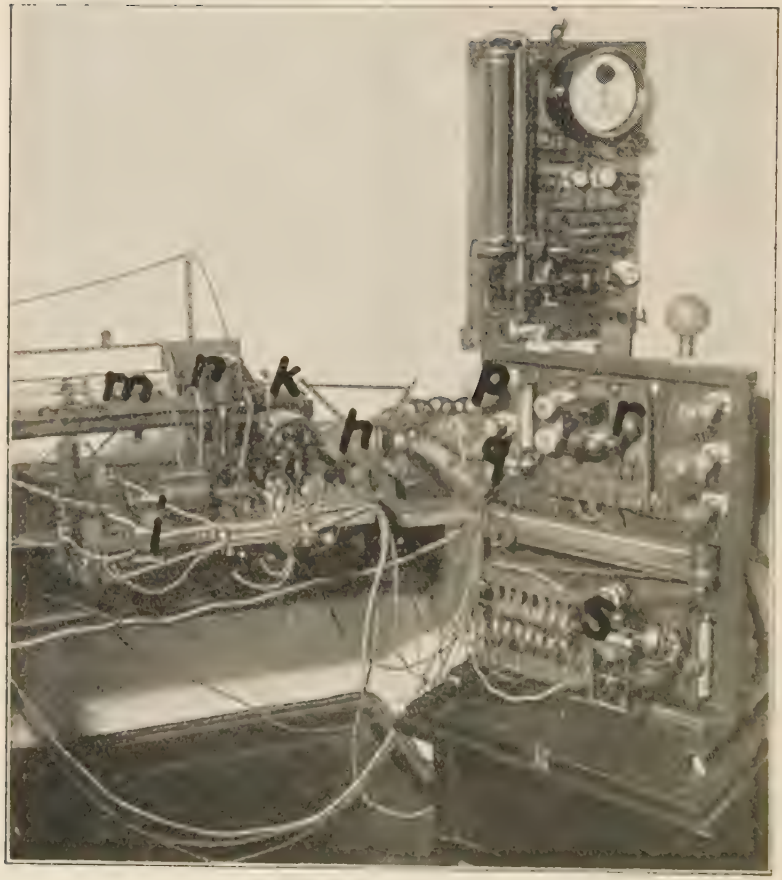


Abb. 7.

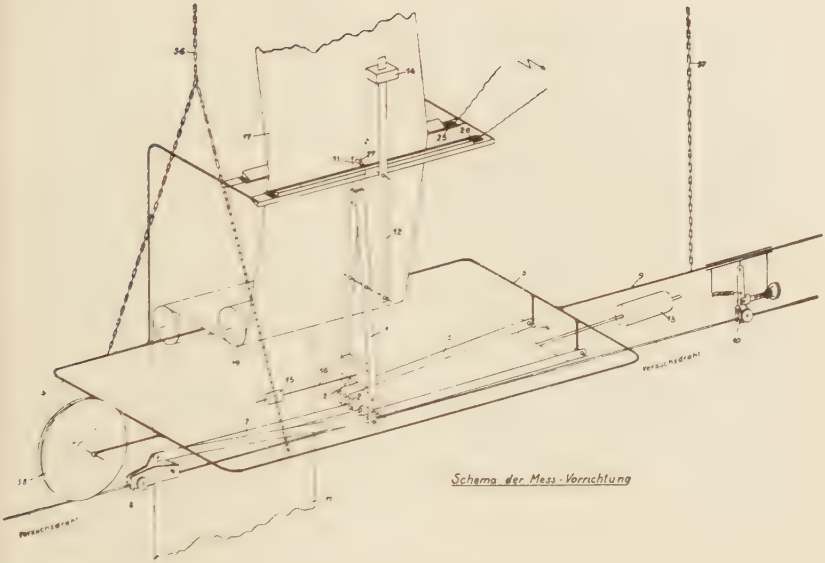


Abb. 8.

Abb. 9 siehe Seite 54.

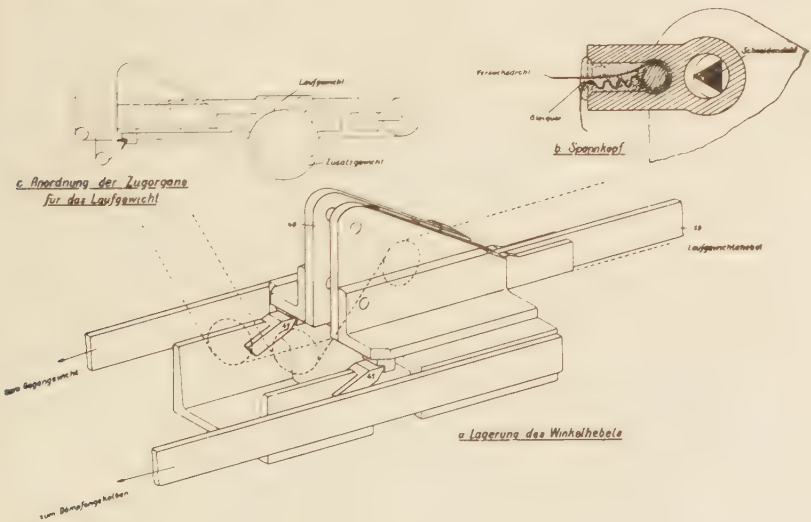


Abb. 10.

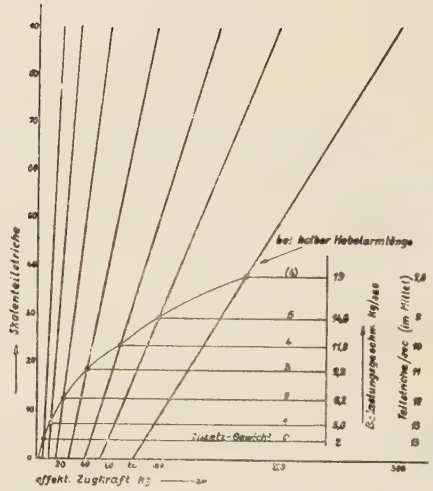


Abb. 11

Eichkurven des Gewichtshebels

Abb. 12 siehe Seite 22.

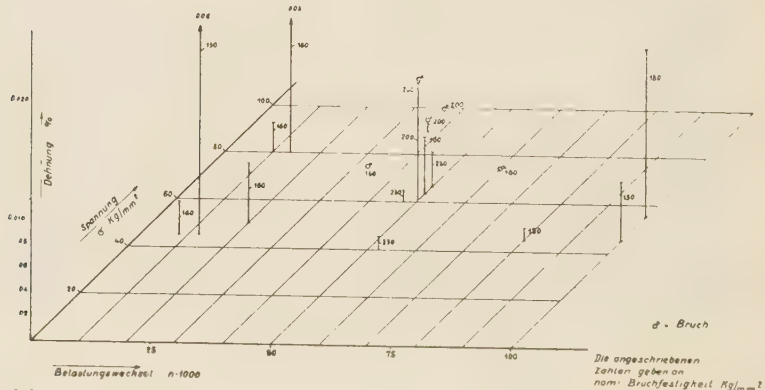


Abb. 13

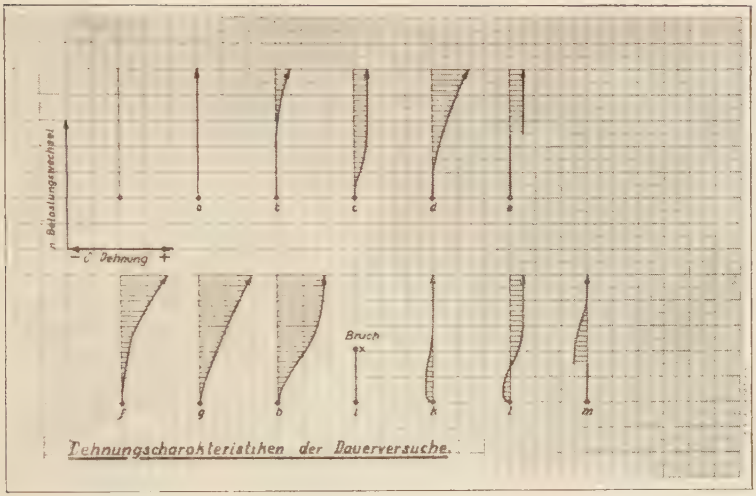


Abb. 14.

Abb. 15 siehe Seite 55.

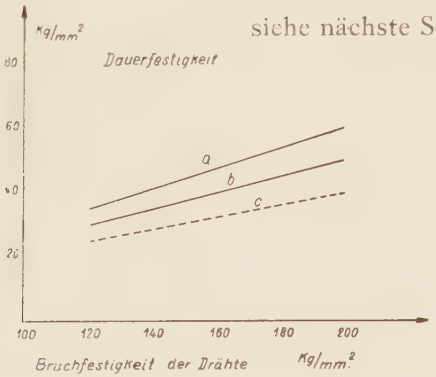
Abb. 16  siehe nächste Seite 50.

Abb. 17.

Experimentell ermittelte Dauerzugfestigkeit in Abhängigkeit von der Bruchfestigkeit.
Kurve a: für Originaldrähte
b: gewickelte Drähte
c) Seile (geschätzt, nicht exper. ermittelt).

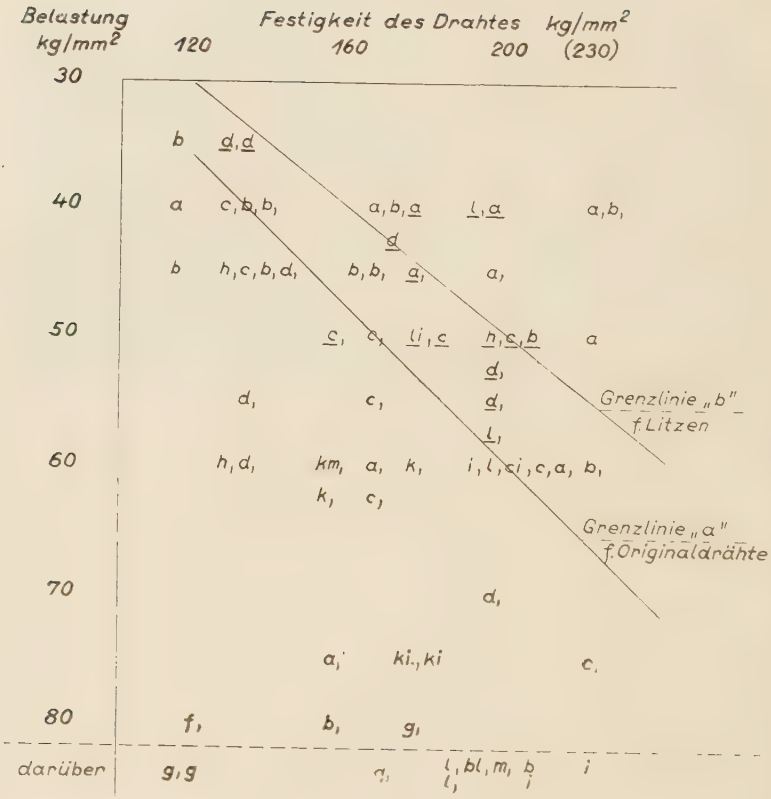


Abb.16. Zusammenstellung der ausgeführten Versuche, geordnet nach Belastung, nom. Bruchfestigkeit und Dehnungscharakteristik (die Buchstaben entsprechen der Abb. 14)
die unterstrichenen Buchstaben beziehen sich auf Litzen.

Abb. 18 und 19 siehe Seite 56.

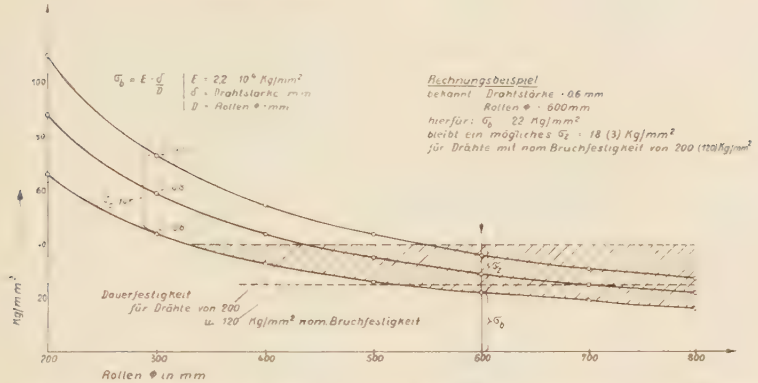


Abb. 20. Darstellung von σ_b u. σ_z als Komponenten der Dauerfestigkeit in Abhängigkeit von der Drahtstärke und dem Rollendurchmesser.

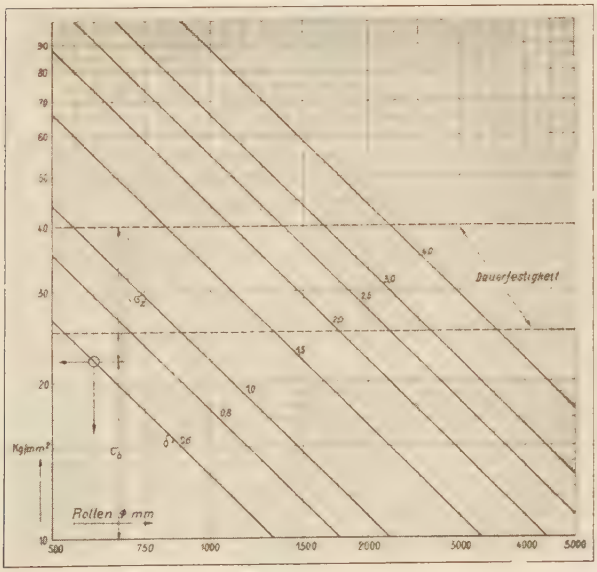


Abb. 21. Erweiterte (logarithmische) Darstellung der Abb. 20.

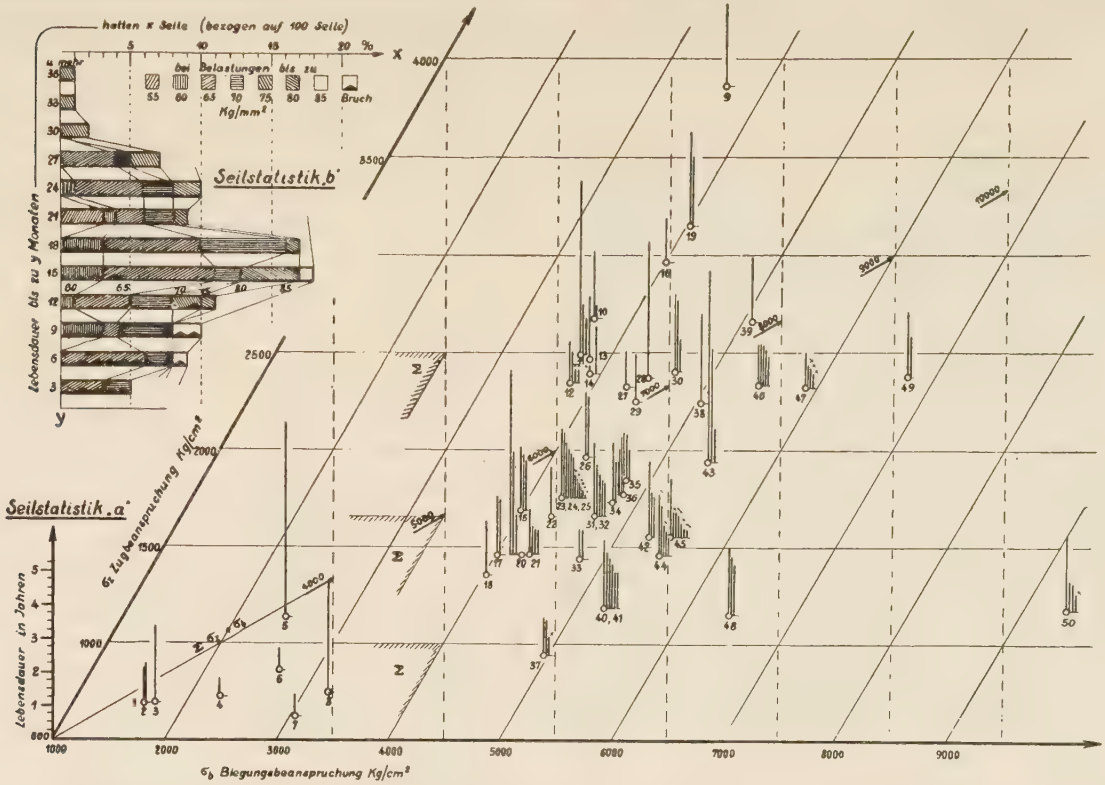


Abb.22. Seilstatistiken.

a) Lebensdauer der Seile in Abhängigkeit von der Zug- und Biegungsbeanspruchung.
b) Verteilung der Seile (in v. H.) nach Lebensdauer und Gesamtbeanspruchung.

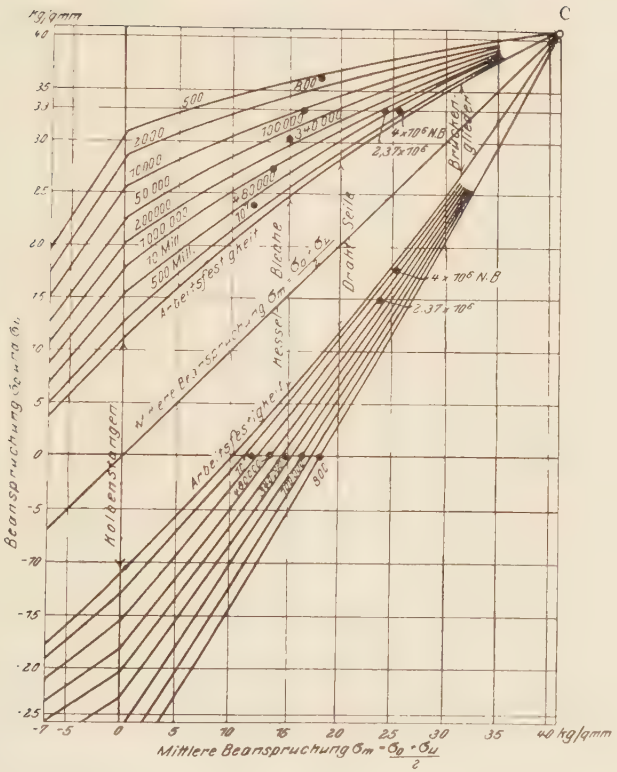
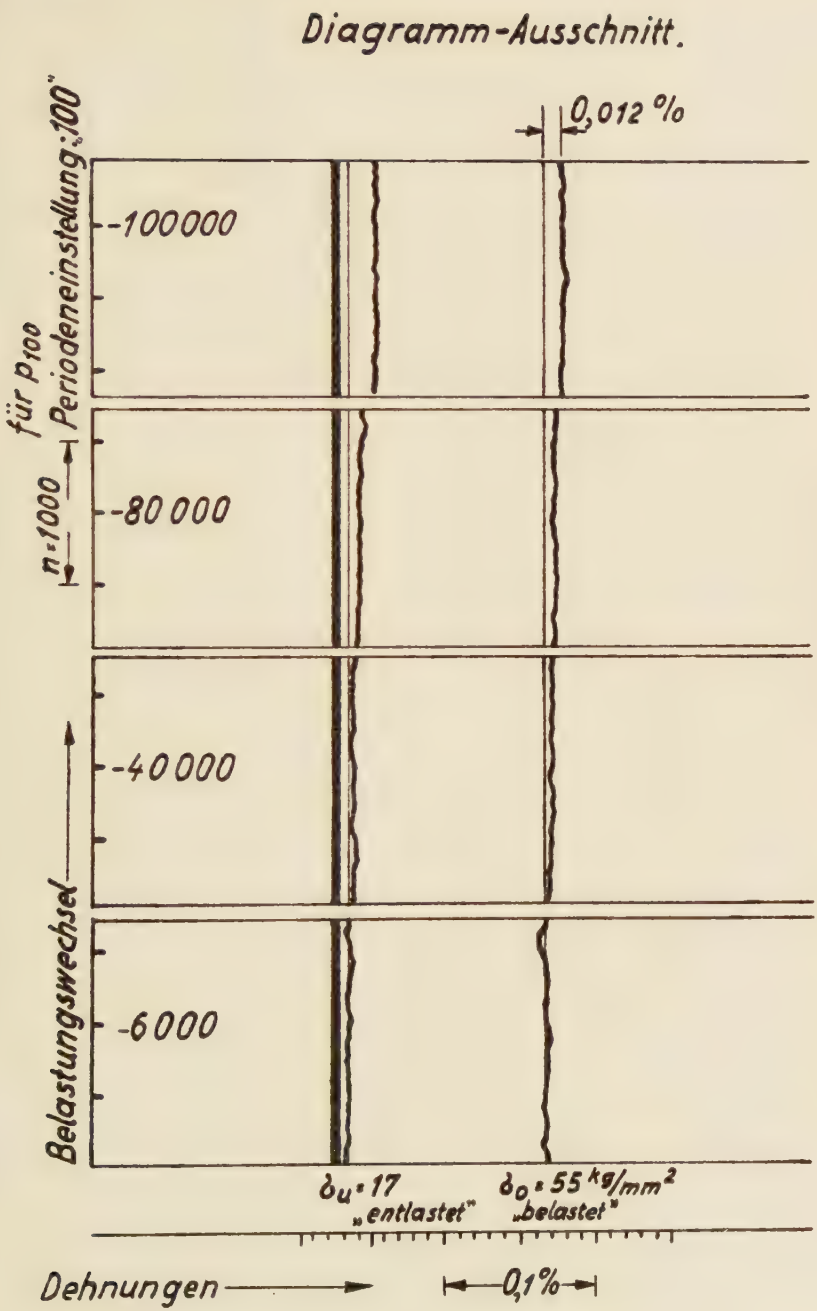


Abb. 23. Arbeitsfestigkeit nach Stromeyer.

Die Funkenschrift auf den folgenden Abbildungen 9, 15 a—h, 18 und 19 ist durch Tintenschrift ergänzt worden.

Abb. 9



δ = 0,9 m/m Festigkeit = 130 kg/mm²

Auswahl aus abnorm verlaufenen Versuchen.

Abb. a - f haben den gleichen Dehnungsmaßstab.

beachte: -!! (Kürzung). „Fehler in Wicklung, nicht dicht genug gewickelt."

Abb. 15a

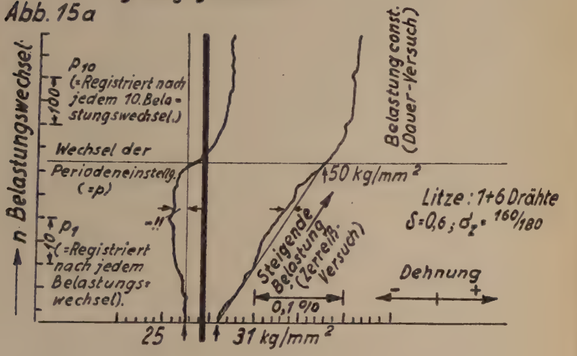


Abb. b „vorbeansprucht: ruhende Last 75 kg/mm² 24 Std."

-! Kürzung (zu- und abnehmend)

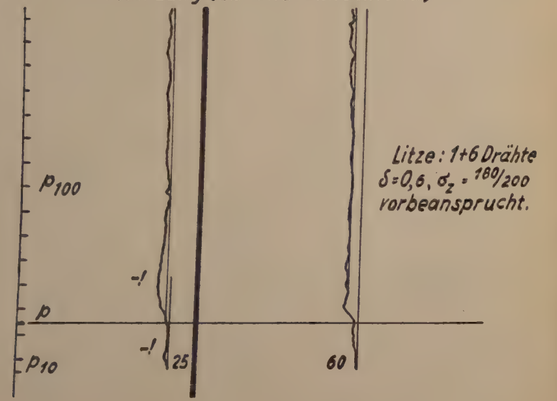


Abb. c

-! Kürzung +! sprunghafte Dehnung.
Kein Draht gebrochen.

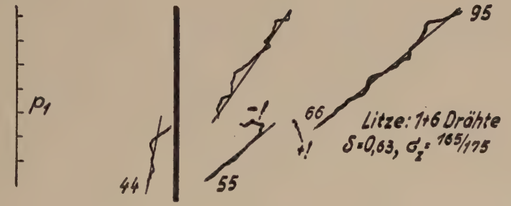


Abb. d

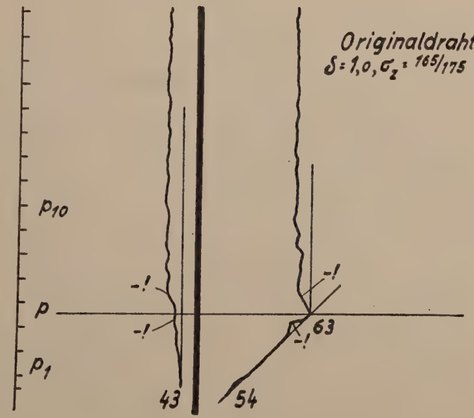


Abb. e

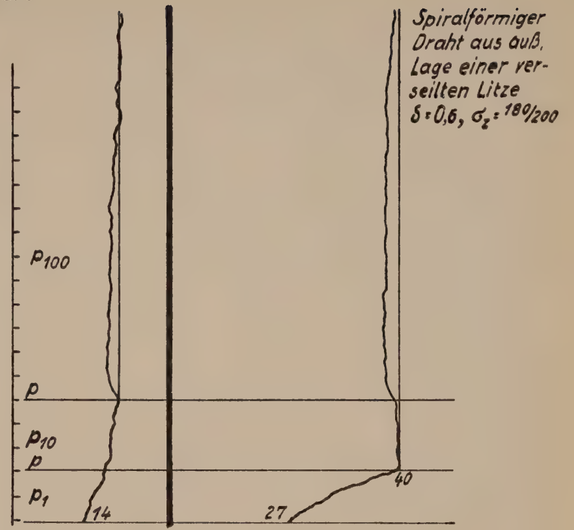


Abb. f „Draht vorbeansprucht: um Dorn gewickelt"

(Vorgang: Zerreißversuch bis 120 kg/mm² 6 Std. Ruhe entlastet, anschl. obiger Dauerversuch, gleich mit Vollast).

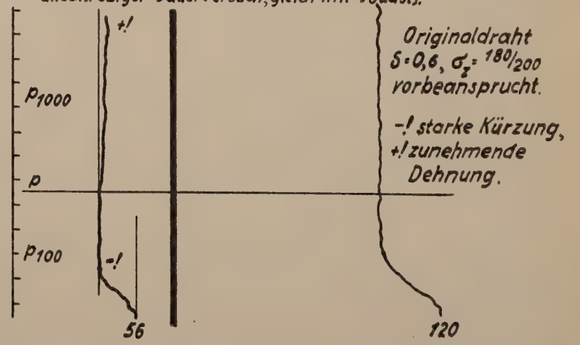


Abb. g

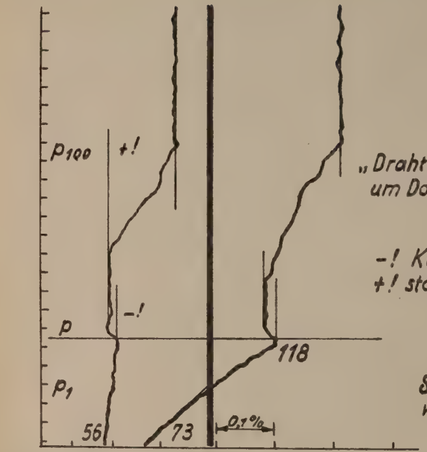


Abb. h

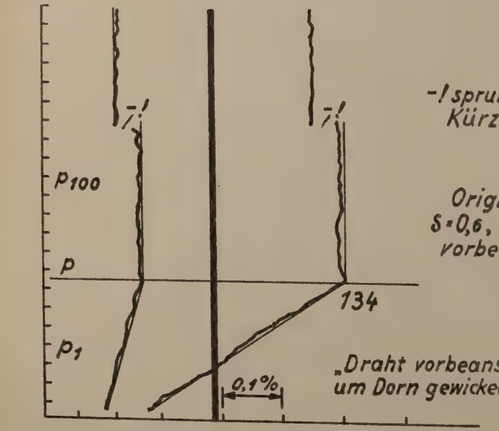


Abb. 18

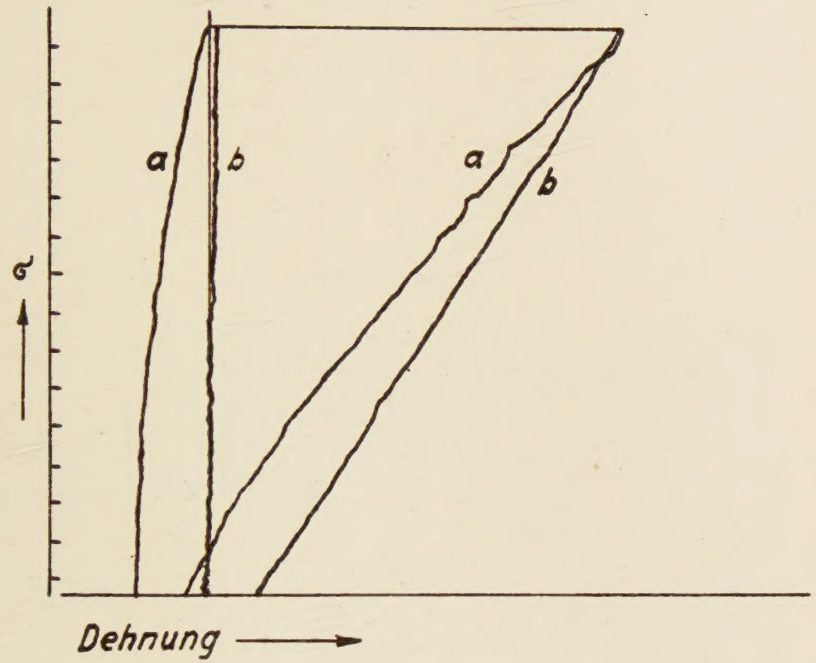
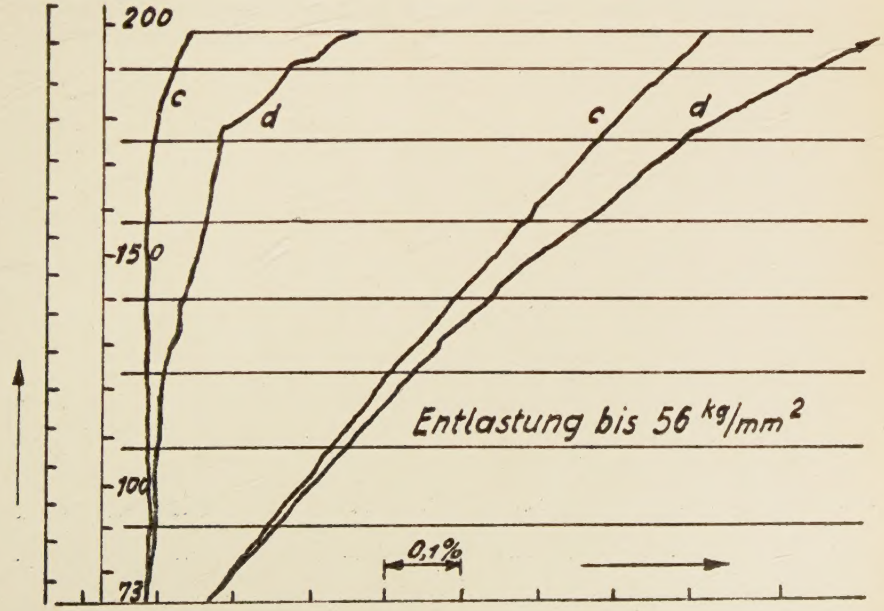


Abb. 19



Lebenslauf.

Am 11. August 1895 wurde ich Friedrich Wilhelm Beck als Sohn des Studienrats i. R. Carl Beck zu Stuttgart geboren. Ich besuchte das Staatliche Friedrichs-Gymnasium zu Breslau, woselbst ich Ostern 1914 das Reifezeugnis erlangte. Zu Kriegsbeginn als felddienstunfähig zurückgestellt, begann ich mein Studium Oktober 1915. Anfang 1917 rückte ich als Freiwilliger ins Feld und geriet Ende 1917 in französische Gefangenschaft. Nach Rückkehr im März 1920 setzte ich mein Studium an der Technischen Hochschule zu Breslau fort und erlangte im März 1921 den Grad eines Diplomingenieurs. Seit dieser Zeit war ich als Assistent zunächst außerplanmäßig und von Mai 1923 ab bis April 1927 als etatsmäßiger Assistent am Lehrstuhl für Lasthebemaschinen und Transportanlagen, ab da, gleichzeitig mit Beendigung der Versuche zu vorliegender Arbeit, in der feinmechanisch-optischen Industrie.